DIE STRUCTUR DES CHIASMA OPTICUM

NEBST EINER ALLGEMEINEN THEORIE DER KREUZUNG DER NERVENBAHNEN

VON

DR. S. RAMÓN Y CAJAL

PROFESSOR DER HISTOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT MADRID.

AUS DEM SPANISCHEN ÜBERSETZT

VON

DR. J. BRESLER

OBERARZT DER PROV.-HEIL- UND PFLEGE-ANSTALT FREIBURG I. SCHL.

MIT EINEM VORWORT VON

DR. P. FLECHSIG

GEH. MED. RATH UND PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG.

MIT 12 ABBILDUNGEN.



LEIPZIG,

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1899.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

Beitrag

zum Studium der Medulla oblongata, des Kleinhirns und des Ursprunges der Gehirnnerven.

Von **S. Ramon y Cajal.**

Deutsche, vom Verfasser erweiterte Ausgabe, besorgt von **Johannes Bresler.**

Mit einem Vorwort von E. Mendel.

139 Seiten mit 40 Abbildungen. 1896. M. 6.—, geb. M. 7.

Wiener Klinische Wochenschrift. Als im Jahre 1895 die „Apuntes para el estudio del bulbo raquideo" von Cajal in den Mittheilungen der „Soc. Espan. de historia natural" erschienen, wird wohl jeder Kundige, der das Buch in die Hand bekam, auch wenn er des Spanischen nicht mächtig war, bald erkannt haben, welche Fülle der interessantesten und wichtigsten Thatsachen hier niedergelegt ist. Es blieb daher nichts anderes übrig, als sich über die Schwierigkeiten der ungewohnten Sprache hinwegzusetzen und sich mit mehr oder minder grosser Anstrengung durchzuarbeiten. Allein die aufgewendete Mühe wurde reichlich gelohnt und gewiss wird es niemand bedauert haben, sich ihr unterzogen zu haben.

Nunmehr, wo die deutsche Uebersetzung vorliegt, darf man voraussetzen oder, besser gesagt, verlangen, dass auch weitere Kreise sich mit dem Inhalte dieses Werkes vertraut machen. In einem Referate kann derselbe allerdings nicht mitgetheilt werden, denn das Buch besteht aus 19 einzelnen, kleineren oder grösseren Abhandlungen, in denen die Darstellung fast durchwegs eine derart prägnante, bündige ist, dass kaum ein Wort weggelassen werden darf. Besonders ausführlich werden die Ursprünge des Trigeminus, sowie der intracerebrale Verlauf des N. vestibularis und cochlearis behandelt.

Die Untersuchungen sind fast durchwegs an neugeborenen Thieren oder Embryonen mittelst der Silberfärbung durchgeführt worden. Gegen 40 Abbildungen, die den Eindruck grosser Naturtreue machen, genügen, um das Verständniss der schwierigen Verhältnisse, die hier in anerkennenswerth klarer Weise geschildert werden, zu erleichtern.

Prof. H. Obersteiner.

Correspondenzblatt der ärztlichen Bezirksvereine in Sachsen. Die vorliegende Arbeit gilt einem schwierigen Gebiet, auf welchem widerspruchsvolle Beobachtungen gemacht worden sind. Hierher gehört das Ursprungsgebiet des Trigeminus, des Vagus, Glossopharyngeus, Acusticus, der vordere Vierhügel, die Olive des Bulbus, die Structur des Thalamus opticus, der Facialiskern u. a. m. Die trefflichen Abbildungen werden das Verständniss der schwierigen anatomischen Verhältnisse sehr erleichtern. Das Buch wird dem Neuropathologen ebenso wichtig sein, wie dem Anatomen und Physiologen.

Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde. Das Heft enhält die neuesten Befunde des Verfassers, wie er sie an der Hand von imprägnirten Fötusgehirnen von Maus. Kaninchen und Katze erhielt. Das Werkchen soll nur als vorläufige Mittheilung von umfangreichen und noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen zu betrachten sein, birgt indess eine derartige Menge zum Theil neuer, zum Theil Neues bestätigender Beobachtungen in klarer und präciser Darlegung, dass seine Lectüre nicht eindringlich genug empfohlen werden kann — sie verschafft auch einem dem rein anatomischen Gebiete ferner stehenden Neuropathologen einen für seine allgemein theoretischen Anschauungen ausserordentlich wichtigen Einblick in den Entwicklungsgang der modernen Gehirnanatome und -physiologie.

DIE
STRUCTUR DES CHIASMA OPTICUM
NEBST
EINER ALLGEMEINEN THEORIE DER KREUZUNG DER NERVENBAHNEN

VON

DR. S. RAMÓN Y CAJAL
PROFESSOR DER HISTOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT MADRID.

AUS DEM SPANISCHEN ÜBERSETZT

VON

DR. J. BRESLER
OBERARZT DER PROV.-HEIL- UND PFLEGE-ANSTALT FREIBURG I. SCHL.

MIT EINEM VORWORT VON

DR. P. FLECHSIG
GEH. MED. RATH UND PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG.

MIT 12 ABBILDUNGEN.





LEIPZIG,
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1899.

Vorwort.

Die Verdienste, welche sich Ramón y Cajal um die feinere Anatomie des Nervensystems erworben hat, verbürgen von vornherein jeder neuen Abhandlung desselben das lebhafteste Interesse der Fachgenossen. Man darf an ihre Lectüre mit der sicheren Erwartung herantreten, irgend eine wichtige neue Thatsache oder Idee darin zu finden. Ist doch die Zahl der Einzelentdeckungen des berühmten Spaniers so gross, dass man Mühe hat, sie aufzuzählen; sie repräsentiren einen guten Theil unseres gesicherten Wissens über den feineren Bau der nervösen Centralorgane überhaupt.

Auch in der vorliegenden Abhandlung fehlt es nicht an wichtigen thatsächlichen Fortschritten. Die durch von Kölliker's Autorität ins Wanken gebrachte Lehre von der partiellen Kreuzung der Sehnerven des Menschen und höherer Thiere wird von Ramón y Cajal wieder auf sichere Fundamente gestellt und durch den Befund ungekreuzter Collateralen an den im Chiasma sich kreuzenden Opticus-Fasern in überraschender Weise erweitert. So wichtig diese concreten Mittheilungen sind, so werden sie doch der Ausdehnung nach übertroffen von den allgemeinen Betrachtungen, welche der ideenreiche Forscher über die Bedeutung gewisser Einrichtungen, besonders der Faserkreuzungen im Centralnervensystem anstellt — wobei er auch das psychische Gebiet vielfach streift.

Man ist bekanntlich recht verschiedener Meinung darüber, inwieweit es gestattet ist, anatomische Befunde psychologisch zu verwerthen. Während es noch für streng wissenschaftlich gilt, bei psychophysischen Speculationen die Atome und Molecüle der Hirnsubstanz in ausgiebigster Weise in Rechnung zu stellen, hält man die Zurückbeziehung seelischer Vorgänge auf Ganglienzellen und Nervenfasern vielfach für ein Zeichen unklarer, ja principiell falscher Vorstellungen vom Psychischen. Und selbst in Kreisen, welche dem Banne der Metaphysik entwachsen sind, neigt man zu einer weitgehenden Resignation. Hat doch jüngst ein Physiolog, wie von Kries, in einer überaus feinsinnigen Abhandlung Zweifel ausgesprochen, ob uns überhaupt die Hirn-Anatomie für die Entwickelung der Funktionenlehre des Gehirns so wichtig sei. Dieser Autor wendet sich (Univers.-Progr. Freiburg i. B. 1898 „Ueber die materiellen

Grundlagen der Bewusstseinserscheinungen") u. a. auch gegen den von mir ausgesprochenen Satz, „es sei eine wahrhaft naive Voraussetzung, dass man die Funktionenlehre eines Organs wie das Gehirn entwickeln könne, ohne das Organ selbst zu kennen". Indem er betont, diesen Standpunkt „nicht ganz" theilen zu können, verweist er darauf, dass z. B. bei den Muskeln und Speicheldrüsen eine „gewisse" Kenntniss der Funktionen der anatomischen Detailkenntniss vorausgegangen ist. Ich erkenne dies rückhaltslos an; der Einwand trifft aber nicht das Wesentliche meiner Aufstellung. Ich habe durch den Ausdruck, „eines Organs wie das Gehirn" eben darauf hinweisen wollen, dass dieses eine Sonderstellung einnimmt. Man kann das Gehirn überhaupt nicht mit einem Organ, wie ein Muskel oder eine Drüse, vergleichen. Es steht dem Gesammtkörper gegenüber, welchen es in allen seinen Theilen repräsentirt. Man kann einen Muskel wohl mit einem Nerven, einem Spinalganglion u. dergl. vergleichen, nicht aber mit einem so äusserst complexen Organ-System wie das Gehirn. Es gehen, wie sich mehr und mehr herausstellt, in die Zusammensetzung eines Stückes, wie die Grosshirnlappen, eine ganze Anzahl Unterorgane ein, deren jedes schon recht respectable makroskopische Dimensionen darbietet. Von dem besonderen Antheil eines jeden derselben an den psychischen Gesammtleistungen wissen wir ohne Berücksichtigung der anatomischen bezw. experimentellen und klinischen Erfahrungen überhaupt nichts. von Kries weist, um die Unzulänglichkeit der gegenwärtig herrschenden anatomischen Anschauungen, insbesondere der „Leitungslehre", darzuthun, auch auf gewisse psychische Phänomene höchsten Ranges hin, wie die Urtheilsbildung u. dergl. Ich würde jeden Anatomen, welcher glaubt, hierzu den anatomischen Schlüssel bereits gefunden zu haben bezw. welcher das „Leitungsprincip" zur Erklärung für ausreichend hält, für einen Schwärmer halten. Vorläufig hat ja die wissenschaftliche Hirnlehre überhaupt ganz andere Probleme zu lösen, insbesondere die Frage, inwiefern eine Funktion überhaupt theilweise oder ganz an diesen oder jenen meist gröberen Hirntheil gebunden ist. Es handelt sich thatsächlich um eine anatomische Zergliederung der Seele, welche sich naturgemäss zwar noch in den Anfängen befindet, bereits aber so viele kräftige Keime zu Tage gefördert hat, dass das kommende Jahrhundert allem Anschein nach unter dem Zeichen der topographischen Psychologie stehen wird.

Gerade die vorliegende Abhandlung zeigt, wie zahlreich die Gesichtspunkte sind, welche die anatomischen Befunde der Funktionenlehre

des Hirns zu Gebote stellen. Man muss ja ohne Weiteres zugestehen, dass Ramón y Cajal hier vielfach auf Voraussetzungen fusst, deren Richtigkeit erst noch streng zu erweisen ist. Seine schematischen Abbildungen „geistiger Projectionen“ mit ihrer Uebertragung psychischer Vorgänge in das Räumliche werden vielleicht nicht nur bei philosophischen Psychologen Befremden erregen; man mag es auch für gewagt halten, Fragen wie das stereoskopische Sehen, die Wahrnehmung des Reliefs im Vorübergehen und ohne gründliche Detaillirung unter einem neuen Gesichtspunkt zu behandeln. — Wer sich die Mühe nimmt, tiefer in Ramóns Ideengang einzudringen, wird eine Fülle entwickelungsfähiger Gedanken finden. Die Deutung des plastischen Sehens unter Zuhilfenahme des Sinnengedächtnisses erscheint mir um so sympathischer, als pathologische Erfahrungen nöthigen, auch bei den stereognostischen Wahrnehmungen mittelst der Tastorgane gewissen transitorischen Gedächtnissspuren innerhalb der Centralwindungen eine wesentliche Bedeutung zuzuschreiben — weshalb durch periphere Läsionen bedingte Anästhesien weit schwerer so erhebliche Störungen des stereognostischen Sinnes mit sich bringen wie Rindenverletzungen.

Die vier hauptsächlichsten allgemeinen Principien, welche Ramón zur Geltung zu bringen sucht, sind nicht von gleicher Tragweite; die Principien der concentrischen Symmetrie (S. 33) und der Stromschwellung (S. 35) treten an Fruchtbarkeit zurück hinter die Ableitung sämmtlicher Kreuzungen im Gehirn aus der Kreuzung der Sehnerven, der phylogenetisch ältesten, welche ihrerseits bedingt wurde durch das Auftreten der Sammellinse im Bulbus. Der weitere Uebergang des panoramischen Sehens der Thiere mit völlig gekreuztem Sehnerv in das binoculare stereoskopische Sehen wird durch Bildung eines direkten ungekreuzten Sehnervenbündels vermittelt.

Den zweiten grossen allgemeinen Gesichtspunkt bildet das Princip der Einheit der Empfindung. Jedes Empfindungselement einer Wahrnehmung entspricht einer einseitigen Erregung der Grosshirnrinde, kein Theil einer Wahrnehmung wird durch correspondirende Abschnitte beider Hemisphären vermittelt. Indem Ramón aus diesem Princip u. a. die Annahme ableitet, dass die Hörnerven sich total kreuzen und dass überdies jede Hemisphäre nur einen Theil der Tonreihe in sich aufnimmt, übersieht er nicht, dass hier manche Bedenken anatomischer wie pathologischer Provenienz vorliegen, welche ich in der That für beachtlich halten möchte. Das Princip der Einheit der Em-

pfindung wird hierdurch keineswegs hinfällig; es bedarf nur gewisser Correcturen, auf welche im Text schon hingedeutet wird.

Den Schluss der Abhandlung bildet eine neue Eintheilung der Associationssysteme einschliesslich des dazu gehörigen Balkens. Dass sich Ramón y Cajal hierbei auf meine Eintheilung der Hirnoberfläche in Sinnes- und Associationscentren stützt und die Gründe für die Annahme letzterer als „zwingend“ erklärt, möchte ich bei einem so ernsten und tiefen Kenner des Hirnbaues für selbstverständlich halten. Dementsprechend theilt er die Associationssysteme in mehrere Hauptgruppen ein, welche er als iconoideale (Fasern zwischen Sinnescentren und Associations-(Vorstellungs-)centren), interideale (Fasern zwischen verschiedenen Associationscentren) und icono- bezw. ideokinetische (Fasern zwischen Sinnescentren und den zugeordneten motorischen Zellen bezw. den Centralwindungen) bezeichnet. In Bezug auf die letzteren scheint mir eine gewisse Zurückhaltung geboten. Dass innerhalb einer Sinnessphäre z. B. der Sehsphäre Erregungen in den sensiblen Endverzweigungen auf die motorischen Zellen übergehen, ist kaum zweifelhaft; ob aber z. B. von der Sehsphäre aus eine Erregung der Ursprungszellen der Pyramidenbahnen in den Centralwindungen durch directe Associationsfasern ausgelöst wird, bedarf noch weiterer Beweise. Ich habe bereits an einer anderen Stelle darauf hingewiesen, dass die Uebertragung optischer Erregungen z. B. auf die motorischen Leitungen der Hand möglicherweise unter Vermittlung des Thalamus opticus zu Stande kommt. Thatsache ist, dass aus der Sehsphäre corticofugale Leitungen in den Thalamus gelangen. Sie verzweigen sich hier zum Theil dicht nach innen von den mit den Centralwindungen verbundenen Zellgruppen (ventro-laterale, dorsolaterale Kerne etc.), in welchen wir die Endigung zahlreicher Leitungen der spinalen Hinterstränge zu suchen haben, welche also allem Anschein nach kinästhetischer Natur sind. Dass Erregungen der ersteren Faserkategorie auf Neurone der letzteren überspringen, ist noch nicht sicher erweisbar. Ist es thatsächlich der Fall, so würden von der Sehsphäre aus die kinästhetischen Projectionsfasern der Centralwindungen zur Regulirung der Handbewegungen in Erregung versetzt werden können, eine Hypothese, welche uns zahlreiche pathologische Beobachtungen erklären würde, wie die Thatsache, dass bei der Taxis der Bewegungen das Auge vicariirend für die erkrankten Hinterstränge eintreten kann, die Hemiataxie bei Sehhügelerkrankungen u. a. m.

Paul Flechsig.

Inhalt.



DAS CHIASMA OPTICUM.

Seit den klassischen Untersuchungen von Gudden[1]), Ganser[2]), Tartuferi[3]), Singer und Münzer[4]), Henschen[5]), Monakow[6]) u. s. w. schien die Frage nach der Zusammensetzung des Chiasma opticum endgültig erledigt zu sein. Dieselben hatten uns gelehrt, dass in jedem Tractus opticus existiren: direkte Opticusfasern, welche aus der temporalen Seite der homolateralen Retina stammen, und gekreuzte, welche aus dem nasalen Theil der Retina der anderen Seite entspringen. Innerhalb dieser Faserzüge würden noch zu unterscheiden sein die Pupillarfasern, welche aus der Retina kommen und speciell zur Erzeugung des Pupillarreflexes bestimmt sind (durch Verbindung mit dem gemeinsamen Oculomotoriuscentrum), ferner centrifugale Fasern (Cajal, Dogiel), welche in den optischen Centren entspringen und dazu dienen, auf das Auge irgend einen, vielleicht für die leitende Function der Retina notwendigen Einfluss auszuüben, und endlich das Maculabündel, ebenfalls in ein gekreuztes und ein direktes getheilt, und in der Macula lutea entspringend, d. h. in dem Theil der Sehmembran, welcher das grösste Differenzirungsvermögen besitzt.

Da indess ein grosser Theil dieser Resultate durch nicht immer leicht zu interpretirende anatomisch-pathologische Methoden (von Gudden und von Marchi) gewonnen sind, so haben einige Autoren, wie Michel[7]) und Kölliker[8]), den Gegenstand einer Revision unterzogen, indem sie dazu den Prüfstein der reinen anatomischen Methoden, d. h. die direkte Beobachtung der nach Weigert-Pal an normalen Präparaten gefärbten Fasern des Chiasma verwendeten. Ganz gegen jede Vermuthung haben die genannten Forscher auf Grund des Studiums von sorgfältigen

Schnittserien der Retina von Thieren und vom Menschen die Existenz des direkten oder homolateralen Opticusbündels leugnen zu können geglaubt. Die aus der Retina kommenden und das Chiasma bildenden Fasern sollten daher, mit Ausnahme der Gudden'schen Commissur, gekreuzte optische Fasern darstellen, und es würde sich daher beim Menschen, beim Hunde und bei der Katze die Chiasmaanordnung der niederen Säuger und Wirbelthiere (Nager, Vögel, Reptilien, Batrachier und Fische) erhalten. Wenn die Marchi'sche Methode oder die anatomisch-pathologische Beobachtung die Existenz direkter Fasern nachweisen sollten, so würden dieselben, nach Kölliker, eine im Vergleich zu den gekreuzten so geringe Zahl erreichen, dass es unmöglich wäre, ihnen eine für den binocularen Sehact irgendwie wichtige Rolle zuzuschreiben.

Schliesslich sollten die Hemianopsie und überhaupt alle jene optischen centralen Störungen, welche die Existenz eines direkten Bündels zu fordern scheinen, ihre Erklärung in jenseits des Chiasma gelegenen Verhältnissen finden, vielleicht in theilweiser Auflösung der Kreuzung im Gehirn bezw. den primären optischen Centren.

Gegen einen direkten und streng durchgeführten anatomischen Beweis giebt es keinen Einwand. Es ist aber die Frage, ob ein solcher auch wirklich erbracht worden ist. Wenn man sich übrigens erinnert, dass die Existenz des direkten optischen Bündels beim Menschen und bei den höheren Säugethieren auf Grund des Mechanismus des binocularen Sehens (Reliefwahrnehmung und gemeinsames Sehfeld in beiden Augen) angenommen wird, dass die Beobachtungen von Munk, welche von Monakow und anderen bestätigt wurden, zeigen, dass jeder Occipitallappen des Gehirns mit beiden Netzhäuten in Verbindung steht (die rechte Sehregion mit den rechten Theilen beider Netzhäute, die linke mit den linken), wenn man überlegt, dass es gänzlich dem Geiste der weisen und minutiösen Sparsamkeit, welcher den organischen Aufbau beherrscht, widerspricht, eine totale Kreuzung zu schaffen, um sie bald nachher zum Theil wieder aufzuheben; wenn man schliesslich berücksichtigt, dass die Marchi'sche Methode nicht nur bei den Säugethieren mit gemeinsamem Sehfeld, sondern sogar bei den Nagern, deren Augen nur theilweise übereinanderliegende Bilder liefern, constant direkte

optische Fasern erkennen lässt, wie denn auch wir selbst[9]) mittelst dieser Methode nachgewiesen haben, dass bei der Ratte und dem Meerschweinchen, Thieren, die gewöhnlich für mit totaler Kreuzung behaftet gelten, nach experimenteller Exstirpation eines Auges partielle Degeneration im Tractus opticus und Corpus geniculatum externum der lädirten Seite zu Tage tritt, so muss man gestehen, dass die Schlüsse, zu denen Michel und Kölliker gelangt sind, im höchsten Grade Befremden hervorrufen und man kann nur annehmen, dass die Genannten trotz der angewandten Vorsicht in einen unvorgesehenen Irrthum, in der Methode wie in der Beobachtung, verfallen sind. Diesen Eindruck hat kürzlich auch Bechterew[10]) gehabt, welcher, mit der Marchi'schen Methode beim Hunde arbeitend, die landläufige Meinung betreffs der doppelten Bahn des Chiasma bestätigte, desgleichen Cramer[11]), der auch beim Menschen mit der Methode der Atrophie und der Weigert-Pal'schen Färbung die Existenz eines starken direkten Bündels, das, etwas schwächer als das gekreuzte, in bestimmten Regionen der primären Opticuscentren endigt, demonstrirt hat.

Man kann indess die Discussion fortsetzen, auch ohne dass sich die wirkliche Anordnung der Chiasmafasern auf absolute Weise und mittelst direkter Beobachtung feststellen lässt. Die Methode von Michel und Kölliker ist weit davon entfernt, für den vorliegenden Fall diejenige Sicherheit zu gewähren, welche ihr die Genannten zuschreiben. In der That gestattet die Durchsicht dünner, nach Weigert gefärbter Schnittserien, wegen der unvermeidlichen Verstümmelung der Fasern, wie sie in jedem dünnen durchsichtigen Schnitt statthat, nicht die Verfolgung derselben in ihrem ganzen Verlauf, besonders wenn, wie es gerade im Chiasma der Fall, die Opticusfasern einen sehr mannigfaltigen Weg einschlagen und viele Krümmungen machen. Wir glauben, dass die Frage nach der Existenz direkter Bahnen, sowie nach ihrer Ungetheiltheit während der Kreuzung im Chiasma nur durch die Ehrlich'sche und Golgi'sche Methode eine definitive Lösung finden wird, welche in diesem Fall den doppelten Vorzug haben, die Beobachtung dicker Schnitte zu ermöglichen, in denen jede Markfaser über weite Strecken sich verfolgen lässt, und die Theilung des Axencylinders correct zu färben. Obgleich zwar die Existenz intrachiasmatischer Bifurkationen

der Opticusfasern wenig Wahrscheinlichkeit für sich hat, da die Function des Sehorgans wesentlich eine analytische ist, so kann man sie doch ohne kategorische Beweise nicht ausschliessen, um so weniger, als von der Retina einige Fasern, nämlich die Pupillarfasern, ausgehen, deren monoculäre Erregung bekanntlich übereinstimmende bilaterale Reactionen zur Folge hat, und deren reflectorisch-motorische Thätigkeit nicht mit Nothwendigkeit, wie dies bei der Uebertragung optischer Eindrücke auf das Gehirn der Fall, eine vollkommene Individualisirung ihres Verlaufs und ihrer Endigungen involvirt.

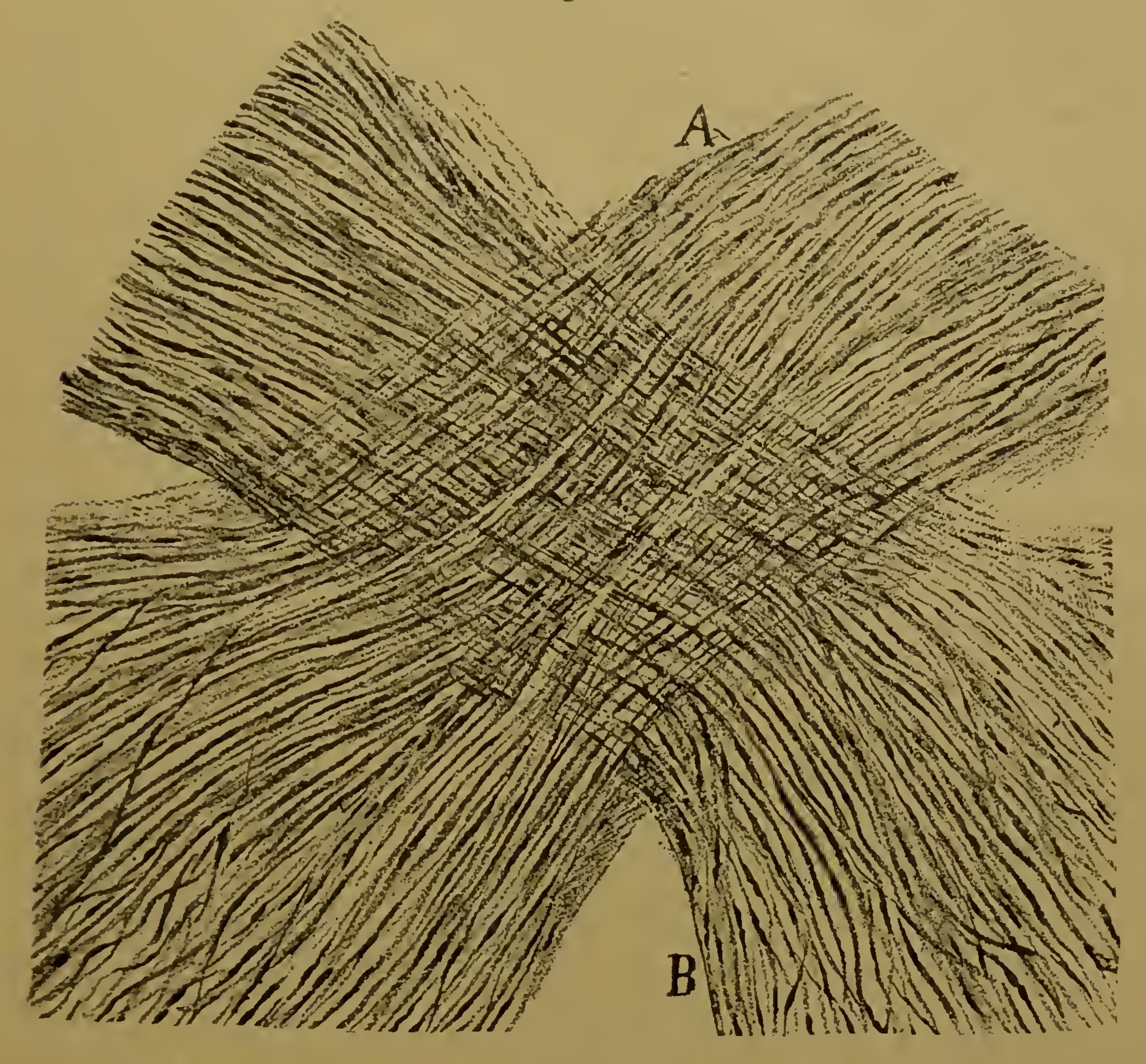
Die vorstehenden Erwägungen haben uns veranlasst, an diesen Gegenstand heranzutreten und die Golgi'sche und Ehrlich'sche Methode als die besten Untersuchungsmittel dabei zu verwenden. Dazu kam noch ein anderer Umstand. Häufige Betrachtungen, welche wir über die Ursache der Kreuzungen der Nervenbahnen angestellt haben, führten uns schliesslich zu der Ansicht, dass alle oder fast alle totalen oder vorwiegenden Decussationen nur Anpassungen an jene ursprüngliche, in Wahrheit fundamentale Kreuzung repräsentiren, welche die Nervi optici der niederen Wirbelthiere bieten. Um unserer Theorie jedoch eine solide Stütze zu geben, war es nothwendig, von Grund aus die Opticuskreuzung bei den verschiedenen Classen der Wirbelthiere zu studiren und uns auf diese Weise von ihrem eigentlichen Charakter zu vergewissern, d. h. davon, ob sie eine totale oder partielle, ob im Chiasma Bifurkationen existiren oder Collateralen, welche die Verbindung jeder Retina, und dadurch jeden Bildes, mit beiden Sehcentren involviren.

Im Folgenden seien kurz die im Chiasma verschiedener Wirbelthiere gefundenen Resultate mitgetheilt.

Fische. Die Untersuchungen wurden mittelst der Methylenblaumethode bei Teleosteern gemacht (Cyprinus carpio, Barbus fluviatilis, Salmo fario etc.) und die Ergebnisse bestätigen vollauf die klassische Ansicht betreffs der totalen Kreuzung. Bei den Teleosteern vollzieht sich dieselbe im spitzen Winkel in einiger Entfernung von den Lobulis opticis und im Niveau des Chiasmas bewahrt jeder Nerv seine Individualität. Man sieht deutlich die Einschnürungen der Nervenfasern; es fehlen jedoch die Theilungen. Nach ihrem Durchmesser lassen sich

feine, ausserordentlich zahlreiche Fasern unterscheiden, welche wahrscheinlich aus den kleinen Ganglienzellen der Retina kommen, und grobe, weniger zahlreiche, die vielleicht die Fortsetzung der Riesenneurone der Netzhaut bilden. Im Niveau einer jeden Einschnürung zeigt der Axencylinder gewöhnlich eine beträchtliche, mit Methylenblau färbbare Verdickung.

Fig. 1.



Chiasma opticum des Frosches, mit der Ehrlich'schen Methode gefärbt. *A*. Nervus opticus; *B*, Tractus opticus. Die Einschnürungen erscheinen intensiv gefärbt.

Batrachier. Wir untersuchten Rana esculenta und Bufo vulgaris ausschliesslich mit der Ehrlich'schen Methode. Das Methylenblau färbt das Chiasma, die Nervi und Tractus optici dieser Thiere sehr gut, wenn man die Luft zwei bis zwei und eine halbe Stunde lang einwirken lässt. Der Axencylinder zeigt eine dunkelblaue Farbe, welche an den Einschnürungen erheblich intensiver wird. (Fig. 1.)

Die Kreuzung der Nervi optici ist eine totale, die Fasern lassen sich sehr leicht in ihrem ganzen Verlauf verfolgen, d. h. vom Nervus opticus bis zum Tractus der entgegengesetzten Seite. Keine einzige Faser erreicht beide Netzhäute, ebensowenig ist es möglich, eine direkte Faser oder die geringste Andeutung einer Bifurkation im Chiasma zu beobachten.

Das Kreuz der Optici ist stumpfwinklig: sie sind fast transversal gegen die Mittellinie gerichtet, an der sie ein bogenförmig verlängertes Chiasma bilden, an welches jeder Nerv mit einer leichten Erhabenheit herantritt. Trotzdem findet an der Kreuzung nicht eine einfache Uebereinanderlagerung der Nerven statt wie bei den Teleosteern, sondern eine successive Decussation von Bündeln, so dass in die interfasciculären Fugen des einen Nerven die Bündel des entgegengesetzten sich einschieben, — eine Anordnung, die sonst bei den Anatomen wohl bekannt und in der „vergleichenden Anatomie“ von Wiedersheim[12]) klar beschrieben ist. Ueberdies richtet sich die Oeffnung des Kreuzungswinkels nach der Entfernung der Augäpfel von einander und von den Lobulis opticis. Sowohl dieser Winkel wie die erwähnte Anordnung der interstitiellen oder durch Bündel getrennten Kreuze folgt einem Nützlichkeitsprincip: der Ersparniss des leitenden Protoplasmas.

Im Allgemeinen ist im Tractus opticus die Lage der Fasern eines jeden Sehnerven beibehalten: die inneren Fasern desselben nehmen im Chiasma einen relativ vorn gelegenen Platz ein und setzen sich in diejenigen des vorderen Randes des Chiasma fort, die äusseren erscheinen im hinteren Theile desselben. Einige Bündel scheinen allerdings bei der Kreuzung im Chiasma ihren Ort zu wechseln, doch ändert sich, wie wir glauben, dadurch keineswegs wesentlich die Vertheilung der Fasern in der Rinde des Lobulus opticus, in welcher höchstwahrscheinlich eine wirkliche Projection der Netzhautoberfläche existirt.

Untersucht man mit apochromatischen Objectiven die Markfasern des Chiasmas, des Tractus und der Nervi optici, so trifft man Einschnürungen, welche sich von denen der gewöhnlichen Nerven dadurch unterscheiden, dass sie sehr nahe aneinander liegen und keine deutlich sichtbare Löthscheibe bieten. Es existirt gleichwohl hier wie in allen Nervenfasern der Centren eine ziemlich lange Einlage von Kitt-

substanz, welche dem erwähnten Discus entspricht und an welcher der Axencylinder stark eingeschnürt ist. Uebrigens variirt die Vertheilung der Einschnürung des Axencylinders um etwas bei den einzelnen Markfasern des Chiasmas; bei den gröberen ist die Einschnürung kurz und scharf, entsprechend dem Umfang des Axencylinders; bei den feineren zeigt sie zuweilen statt der Einsäumung eine spindelförmige, stark mit Methylenblau gefärbte Verdickung. Diese Formen variiren schliesslich auch je nach der Phase der Färbung, während welcher die Fixirung mittelst pikrinsaurem oder molybdänsaurem Ammoniak vor sich ging, und zwar sieht man dann nicht selten die centrale Partie der Axencylindereinschnürung gänzlich ungefärbt. Der Raum zwischen den Einschnürungen ist um so grösser, je stärker die Markfasern der optischen Bahnen, eine Erscheinung, welche auch für die letzteren das von Ranvier für die eigentlichen Nerven aufgestellte Gesetz bestätigt. Wir haben diese Anordnung auch in den Markfasern des Gehirns und des Rückenmarks der Säugethiere nachgewiesen.[13])

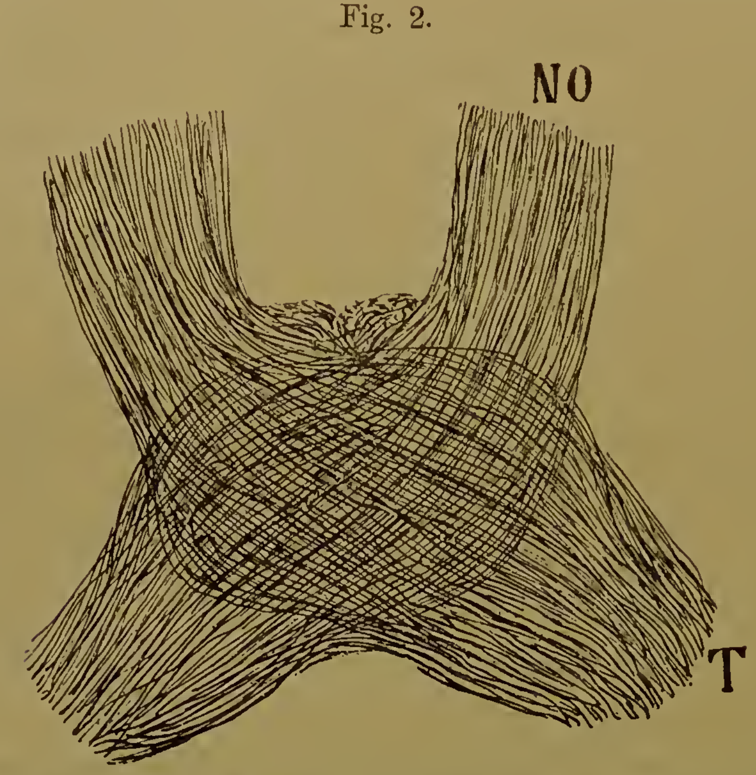
Reptilien. Untersucht wurden mit der Ehrlich'schen Methode Lacerta agilis, Lacerta viridis und Culebra. Die Resultate bestätigen vollständig die Beschreibung, welche wir von dem Chiasma des Frosches gegeben haben. Die Kreuzung ist eine totale, eine Bifurkation nicht zu sehen. Die Sehnerven treten an das Chiasma in mehr oder weniger spitzem Winkel und kreuzen sich, indem sie sich in einzelne Bündel auflösen.

In einiger Entfernung von der Kreuzung senden die Tractus optici eine grosse Zahl von Bifurkationen und Collateralen aus; diese Theilungen entsprechen der Gegend des Corpus geniculatum, wo sie übrigens von meinem Bruder und Edinger an Golgipräparaten verschiedener Wirbelthiere genau beschrieben wurden.

Vögel. Gegenstand der Untersuchung waren Huhn, Taube, Rebhuhn und Schwalbe. Die Markfasern sind viel zahlreicher als bei den Reptilien und es ist zu bemerken, dass sie eine desto erheblichere Zartheit erreichen, je kleiner das Thier ist. So ist z. B. der grösste Theil der Fasern der Schwalbe um mehr als ein Drittel dünner als diejenigen des Huhns. Dies ist insofern von Interesse, als es uns lehrt, dass die Seh- und Differenzirungsschärfe gleich oder fast gleich sein können bei ganz verschieden grossen Netzhäuten.

Der Nervus opticus erscheint in Bündel segmentirt, welche sich im rechten oder stumpfen Winkel treffen, um das Chiasma zu bilden und sich einander durchflechten, indem die der einen Seite durch die Fugen der entgegengesetzten ziehen. Beim Eintritt in den Lobulus opticus gehen die Fasern fächerförmig auseinander; ihre Individualität bewahren sie bis zum Corpus geniculatum, wo sie, wie ich und mein Bruder nachwiesen, Collateralen aussenden. In Methylenblaupräparaten erscheinen diese Zweige sehr gut gefärbt.

Fig. 2.



Chiasma einer Maus, von unten gesehen. Färbung nach der Ehrlich'schen Methode. *NO*, Nervus opticus; *T*, Tractus opticus.

Bei den von uns untersuchten Vögeln scheint weder eine direkte Bahn, noch Bifurkationen, noch eine interretinäre Commissur zu bestehen. Letztere könnte man sehr wohl vermuthen, weil der spitze Winkel am vorderen Rande des Chiasma sanft abgeflacht ist. — Wie bei den Reptilien, Batrachiern und Fischen zeigt das Methylenblau zarte, mittlere und grobe Fasern.

In einigen Präparaten bot der vordere Theil des Chiasma, eingeschlossen zwischen oberflächlichen Bündeln, längliche, spindelförmige, mit grossen bifurkirten und varikösen Dendriten versehene Nervenzellen.

In einem einzigen Schnitt zählten wir fünf solcher Zellen. Da wir den Axencylinder nicht weit genug verfolgen konnten, vermögen wir uns über die Bedeutung dieser Zellen nicht zu äussern; wir fanden sie auch verschiedene Male beim Kaninchen und bei der Katze. Ihre Aehnlichkeit indess mit denen des Tuber cinereum legt den Gedanken nahe, dass sie dislokirte Zellen dieses Organs oder der Gegend, welche graue Wurzel der Nervi optici genannt wird, darstellen; die Structur letzterer Region scheint uns die gleiche wie die des Tuber cinereum zu sein.

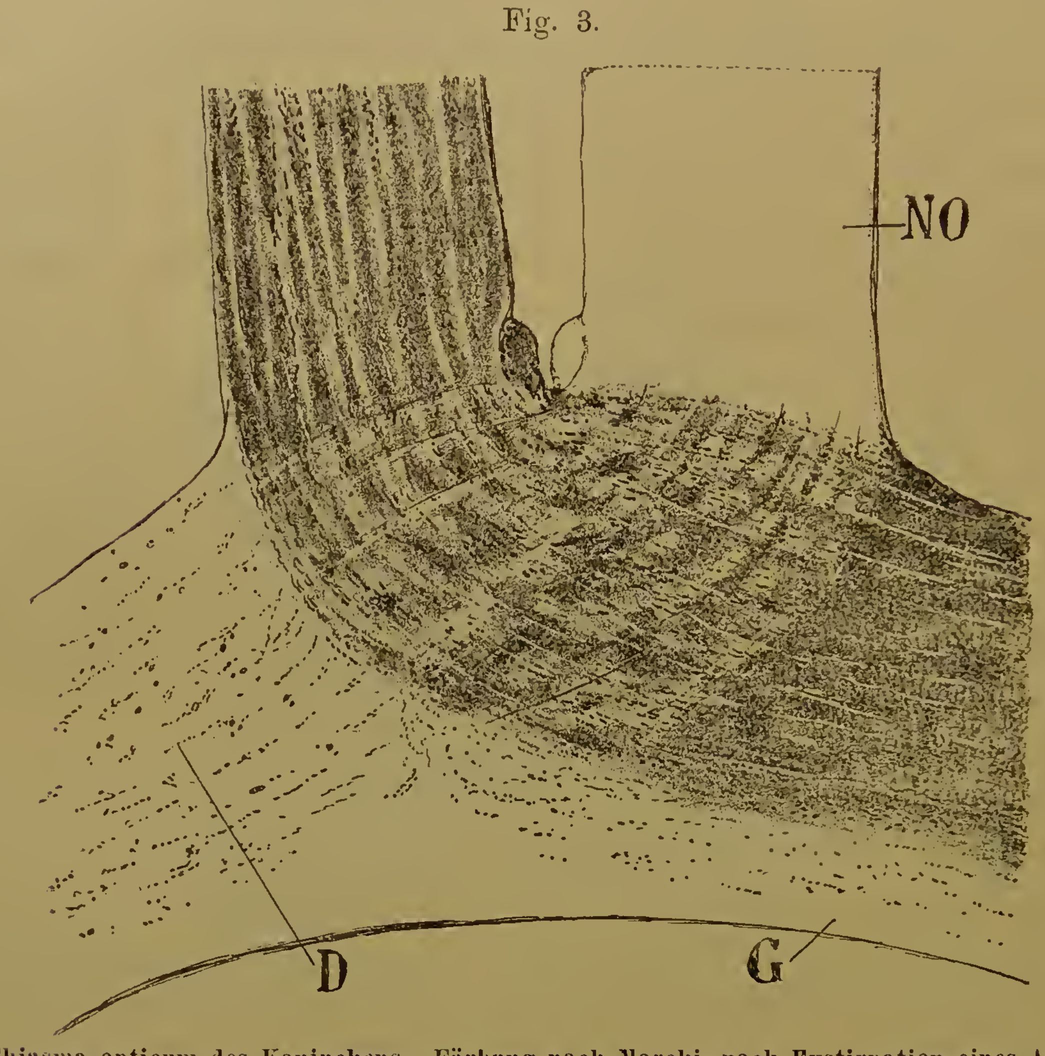
Säugethiere. Unsere Untersuchungen erstreckten sich auf die Maus, das Kaninchen und die Katze. Bei der Maus und dem Kaninchen machten wir mit Vortheil von der Ehrlich'schen Methode Gebrauch, bei der Katze arbeiteten wir ausserdem mit der Golgi'schen, und zwar an neugeborenen oder nur wenige Tage alten Thierchen. Die schwarze Reaction vollzieht sich mit Sicherheit an den Nervenfasern, wenn das Mark noch nicht erschienen ist; soweit sich jedoch dieses bildet (2 oder 3 Tage bevor das Thier die Augen öffnet), setzt sich das Chromsilber nur an den Neurogliazellen ab. Da nun aber das Auftreten des Myelins nicht gleichzeitig in allen Fasern stattfindet, so färben sich auch in solchen Chiasmas, die ganz markhaltig scheinen (bei Katzen von 15 Tagen), einige zarte Fasern mit Chromsilber.

Einmonatige Kaninchen sowie ausgewachsene Mäuse eignen sich sehr gut für die Methylenblaufärbung. Die Nervi optici sind zart, verlaufen fast parallel und sehr dicht neben einander und treten in sehr spitzem Winkel in das Chiasma ein. Die Markfasern sind bei der Maus sehr zart, stärker beim Kaninchen und am stärksten bei der Katze, bei welcher die Axencylinder einen wenigstens doppelt so grossen Durchmesser besitzen wie bei ersterer. Die Fasern der einzelnen Thiere haben meist ein gleich grosses Kaliber; nur hier und da entdeckt man einige stärkere Markfasern, welche zwischen denjenigen von mittlerem Kaliber vereinzelt liegen. An Ehrlich'schen Präparaten bieten die Einschnürungen der Fasern eine grosse Regelmässigkeit; es erschienen die bikonischen Ranvier'schen Verdickungen intensiv blau gefärbt und sogar die Scheiben der Kittsubstanz, ganz wie dies bei den Markfasern des Gehirns und Rückenmarks der Fall.

Gekreuzte Fasern des Chiasmas. Bei der Maus und dem

Kaninchen ist die bei weitem grössere Mehrzahl der mit Methylenblau färbbaren Fasern gekreuzt; weder mittels dieses Reagens noch durch Chromsilber konnten wir eine direkte oder homolaterale Faser zu Tage fördern. Es können trotzdem, wie wir später sehen werden, einige wenige Fasern dieser Art existiren.

Fig. 3.



Chiasma opticum des Kaninchens. Färbung nach Marchi, nach Exstirpation eines Auges. *NO*, gesunder Nervus opticus; *D* degenerirte homolaterale Fasern; *G*, Gudden'sche Commissur mit einigen degenerirten Opticusfasern (das Degenerirte ist durch schwarze Körner gekennzeichnet).

Innerhalb des Tractus opticus und der Sehnerven verlaufen die gekreuzten Fasern parallel; in dem Maasse jedoch, als sie sich dem Chiasma nähern, erfährt ihr Verlauf bedeutende Veränderungen. Die Mehrzahl zieht, wie Michel, Kölliker und Cramer erwähnen, in mehr oder weniger complicirten krummen Linien durch das Chiasma. Bei der Katze und sicherlich auch beim Menschen zeigt die von den Fasern eines jeden der beiden Sehnerven gebildete S-Figur eine stark aus-

geprägte Convexität, mit welcher sie in das entsprechende Stück des entgegengesetzten Nerven eintreten, eine in Chromsilber wie in Marchipräparaten beachtenswerte Anordnung, die nur für die inneren Fasern der Sehnerven charakteristisch ist; die mittleren und äusseren Fasern verlaufen weniger krummlinig und können sich sogar mit denen der anderen Seite im rechten Winkel schneiden. (Fig. 4 und 5.)

Ueberdies sieht man diese eben erwähnte Anordnung in gekreuzten Schleifen nur bei breiten Chiasmen deutlich, wie z. B. bei der Katze und beim Hunde (Fig. 4); bei Chiasmen, die im Querdurchmesser kurz sind, wie beim Kaninchen, beschreiben die sich kreuzenden Fasern nur eine einzige Curve mit nach vorn und innen gerichteter Concavität, bevor sie in den Tractus der entgegengesetzten Seite eintreten. (Fig. 3.)

Nachdem das Chiasma gekreuzt, bilden die Kreuzungsfasern bei der Ratte, der Maus und dem Kaninchen den ganzen Tractus opticus der entgegengesetzten Seite, was besonders deutlich in Fig. 3 zu sehen ist, wo wir das nach Marchi gefärbte Chiasma eines Kaninchens, dem ein Auge exstirpirt worden, wiedergeben. Bei der Katze zeigt diese Methode ebenfalls, dass die gekreuzten Fasern den ganzen contralateralen Tractus einnehmen, doch ist ihre Vertheilung nicht gleichmässig. Allgemein lässt sich sagen, dass das Contingent der gekreuzten Fasern in der äusseren Portion des entgegengesetzten Tractus etwas abnimmt und homolateralen Fasern Platz macht, die hier mehr als in den übrigen Partien concentrirt liegen.

Direkte oder homolaterale Fasern. Bei den Nagethieren lassen sie sich, vielleicht wegen ihrer zu geringen Zahl, weder mit der Ehrlich'schen noch mit der Golgi'schen Methode nachweisen; dagegen bringt sie die Marchi'sche zum Vorschein. Schon Singer und Münzer beobachteten nach Exstirpation eines Auges beim Kaninchen degenerirte Fasern in dem gleichnamigen Tractus. Diese Thatsache wurde von uns beim Meerschweinchen und bei der Ratte bestätigt, kürzlich auch beim Kaninchen (Fig. 3, *D*). Bei diesem wie auch bei den erstgenannten Thieren nehmen die fettig entarteten Fasern, welche den direkten Bahnen entsprechen, keine bestimmte Stelle im Tractus ein, sondern erstrecken sich über dessen ganze Breite, aus den äusseren, mittleren und inneren Schichten des Sehnerven hervortauchend.

Die Fetttropfen der homolateralen Fasern lassen sich beim Kaninchen, der Ratte und dem Meerschweinchen bis zum Corpus geniculatum externum und zum Pulvinar verfolgen, wo letztere sich wahrscheinlich in der ganzen Ausdehnung dieser Centren verzweigen, wie dies aus der Existenz der schwarzen Streifen in dem ganzen Verbreitungsgebiet der Opticusfasern hervorgeht. Hingegen fehlen sie oder sind sie sehr selten im vorderen Vierhügel. Beim Menschen verbindet sich, wenn man den

Fig. 4.

Chiasma der Katze, nach Marchi gefärbt, 14 Tage nach Exstirpation eines Auges. Die schwarzen Streifen und dunklen Partien bezeichnen die degenerirten Nervenfasern.

N, degenerirter Nervus opticus, entsprechend dem enucleirten Auge; *C*, Tractus opticus der entgegengesetzten Seite, nach welchem das Gros der degenerirten Fasern (gekreuztes optisches Bündel) zieht; *a*, homolaterales Bündel; *c*, Gudden'sche Commissur.

jüngst von Cramer gezogenen Schlüssen glauben darf, jeder Nervus opticus mit beiden vorderen Vierhügeln (Randzone und oberflächliche graue Substanz), mit dem contralateralen durch das gekreuzte stärkere Bündel, mit dem gleichseitigen durch das direkte.

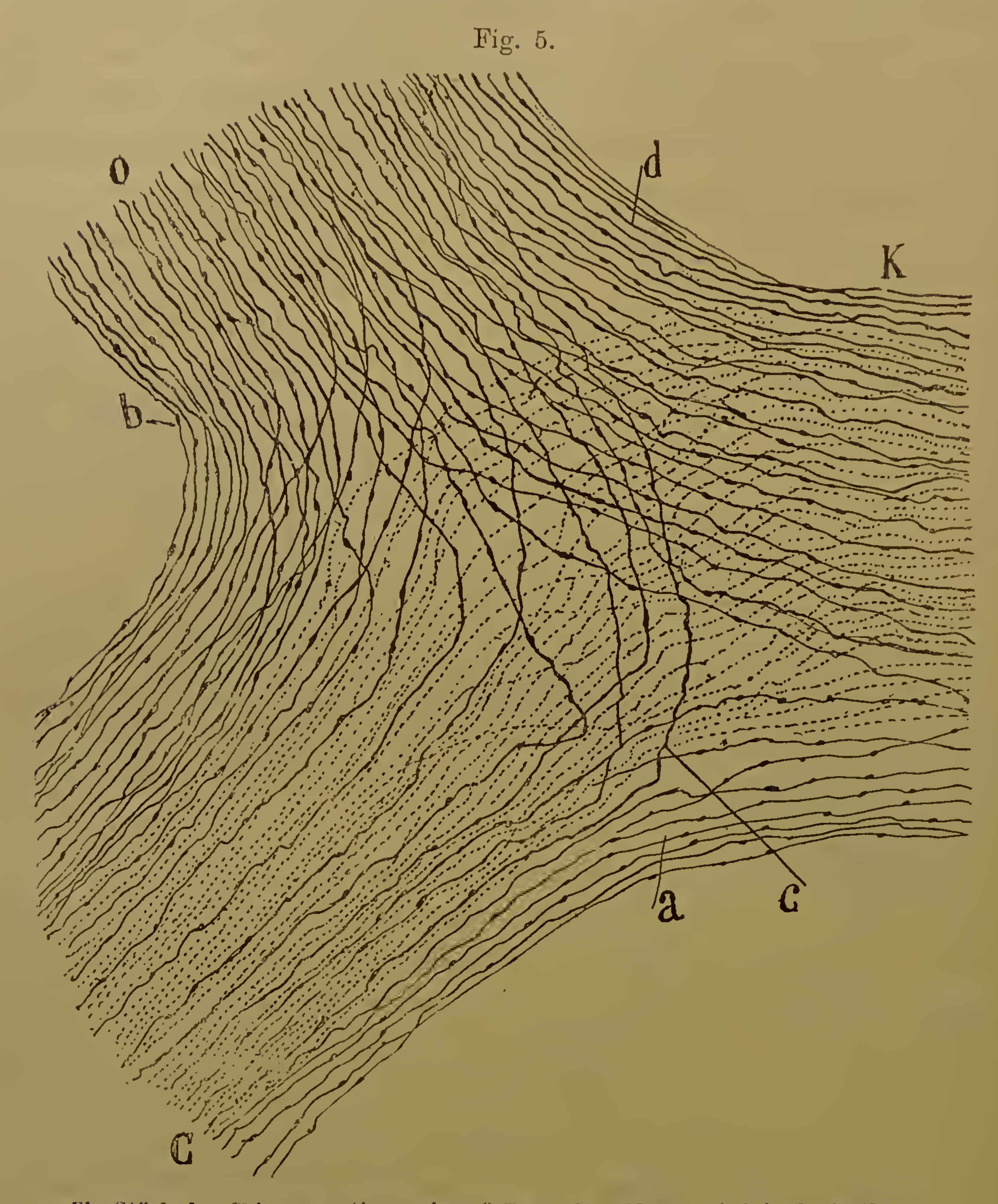
Bei der Katze sind die gleichnamigen Fasern sehr zahlreich und sehr leicht zu demonstriren, sowohl mit der Golgi'schen wie mit der Ehrlich'schen Methode. Auch die Marchi'sche bringt sie mit voller Klarheit zum Vorschein (Fig. 4, *a*). Wie Fig. 5 zeigt, die genau nach

einem guten Präparat von einer wenige Tage alten Katze gezeichnet ist, beträgt die Zahl der homolateralen Fasern fast ein Drittel. Wir bemerken, dass sich über ihre Realität nicht streiten lässt, da sie in unseren Chromsilberpräparaten bequem vom Sehnerv bis weit in den Tractus selbst verfolgt werden können. Fast alle diese direkten Fasern verlaufen an der äusseren Seite des Sehnervs, schmiegen sich an die äussere Krümmung des Chiasmas an, dessen Contur sie begrenzen, und treten in die vordere Partie des Tractus ein. Einige direkte, mehr nach innen gelegene Fasern pflegen, bevor sie sich nach aussen wenden, einen grossen Bogen mit nach aussen gerichteter Concavität zu beschreiben, um in einer mehr nach hinten gelegenen Ebene in den gleichseitigen Tractus einzutreten. Nicht wenige schliesslich gelangen erst unter complicirten Windungen an ihren Ort. Diese Unregelmässigkeiten des Verlaufs der direkten Fasern erklären es, warum sich Michel und Kölliker von ihrer Existenz nicht überzeugen konnten (Fig. 5, *c*).

Die direkten Fasern nehmen vorzugsweise die vordere und äussere Seite des Tractus ein; Cramer hat indess beobachtet, dass sie auch im mittleren und selbst im inneren Drittel nicht fehlen. Diese inneren Fasern findet man besonders in Präparaten, die nach der Marchi'schen Methode gefärbt sind (Markdegeneration 14 bis 15 Tage nach der Exstirpation eines Auges), in denen man Fetttropfen oder Fettstreifen an keiner Stelle des Tractus vermisst. Vergleicht man die Lage der homolateralen Fasern in den verschiedenen Segmenten des Tractus, so gewinnt man die Ueberzeugung, dass in der Nähe des Chiasmas die Mehrzahl dieser Fasern das äussere Drittel einnimmt, während sie sich gleichmässig über die ganze Ausdehnung des Tractus vertheilen in dem Maasse, als dieser sich vom Chiasma entfernt (Fig. 4). Diese Präparate zeigen übrigens, dass die erwähnten Fasern aus sämmtlichen Ebenen des Sehnervs ihrer Seite kommen können, was, beiläufig gesagt, voraussetzt, dass auch im Sehnerv kein wirklicher homolateraler, von dem gekreuzten separirter Strang besteht, sondern eine innige Vermischung beider Faserarten, wenn auch die direkten an der äusseren Seite, die gekreuzten an der inneren vorherrschen. Deshalb halten wir es für wahrscheinlich, dass sowohl in der centralen Portion des Tractus wie im Corpus geniculatum externum und im Pulvinar die direkten und gekreuzten Fasern,

welche identischen Punkten beider Netzhäute entsprechen, benachbart und vielleicht vereinigt verlaufen. Diese Paare von Fasern oder iso-

Fig. 5.



Ein Stück des Chiasma opticum einer 8 Tage alten Katze. Golgi'sche Methode.

O, Nervus opticus; *C*, Tractus opticus; *d*, gekreuzte optische Fasern; *b*, äussere, homolaterale Fasern; *c*, hintere homolaterale Fasern; *a*, Fasern der Gudden'schen Commissur; *K*, vordere Partie des Chiasma. Bemerkung: Die punktirten Linien sind gekreuzte optische Fasern des Nervus opticus der entgegengesetzten Seite.

dynamischen Leitern dürften sich in den primären optischen Centren mit verschiedenen, wenn auch benachbarten Zellen verbinden.

Ueberdies haben wir an unseren Marchipräparaten von Katzen auch die Endigung beider Bündel im Corpus geniculatum externum, Pulvinar und vorderen Vierhügel auch bestätigt gefunden, wobei es uns schien, dass die direkten Fasern denselben Vertheilungsbezirk besitzen, wie die gekreuzten.

Bifurkationen. Die grosse Mehrzahl der Fasern des direkten und gekreuzten Bündels bewahrt ihre Individualität im Verlauf durch das Chiasma, was man sowohl an Methylenblau- wie an Chromsilberpräparaten beobachten kann. Beim Kaninchen indess vermochten wir mit Methylenblau constant eine kleine Zahl bifurkirter Fasern (4, 6, sogar 8 Theilungen in jedem Chiasma) zu färben, eine, im Verhältniss zur Menge der das Chiasma bildenden Fasern sehr geringe Zahl, die aber vielleicht derjenigen der wirklich vorhandenen nicht entspricht.

In der That müssen wir uns daran erinnern, dass das Methylenblau nur die oberflächlicheren Zonen des Chiasmas färbt, so dass die meisten centralen Fasern in den besseren Präparaten nicht zum Vorschein kommen. Es könnten mithin in den tieferen Regionen desselben Bifurkationen existiren, welche sich wegen der Unmöglichkeit des Sauerstoffzutritts nicht färben.

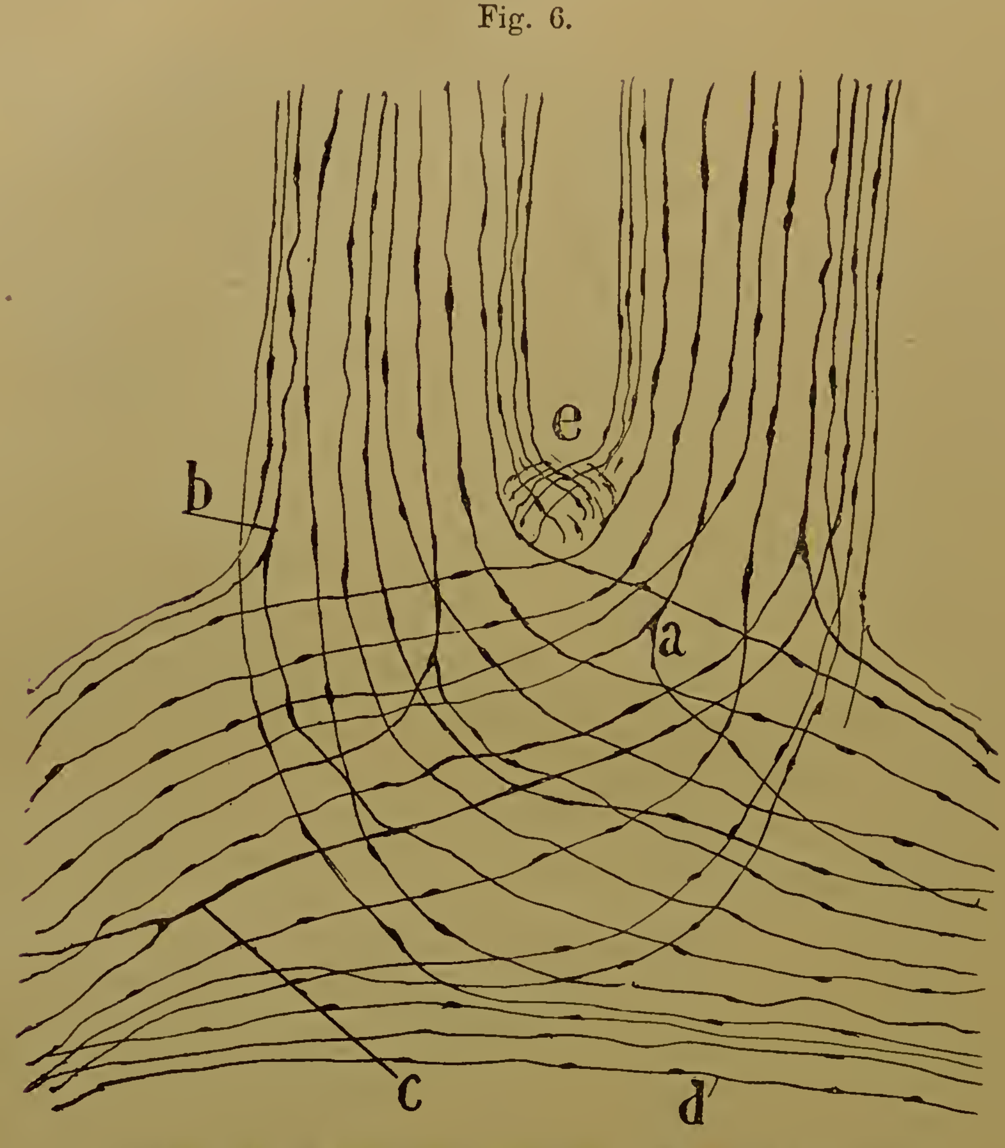
In beiden Regionen des Chiasmas haben wir die Theilungen genau gesehen. Die meisten befinden sich in der vorderen Hälfte desselben, an Fasern, die aus der Retina kommen, und nahe an dem Eintritt des Nerven (Fig. 6, *a*, *b*). Die Bifurkation geschieht im Niveau einer Einschnürung und erzeugt zwei gleiche Fasern, von denen eine nach dem gleichseitigen, die andere nach dem entgegengesetzten Tractus zieht.

Schliesslich theilt sich eine kleine Zahl von Fasern bei ihrem Eintritt in den Tractus der entgegengesetzten Seite. Es handelt sich hier um gekreuzte Fasern, deren beide Bifurkationsäste in verschiedenen Ebenen eines und desselben Tractus verlaufen. Trotz sorgfältiger Färbungen vermochten wir diese Bifurkationen bei der Katze nicht zu bestätigen; bei dieser würden andrerseits die ausserordentliche Zahl nicht bifurkirter Fasern und die Schwierigkeit, die tieferen Regionen mit Methylenblau zu färben, die Demonstration derselben in jedem Falle behindern.

Die Gegenwart der genannten Bifurkationen, deren Zweige in beide

Tractus eintreten, erklärt sofort, warum beim Kaninchen die Exstirpation eines Auges bilaterale Degenerationen zur Folge hat. Gleichwohl ist die Zahl dieser Fasern im Vergleich zu den durch die Marchi'sche

Fig. 6.



Schema des Chiasmas eines Kaninchens. Färbung nach Ehrlich.

a, *b*, bifurirte optische Fasern; *c*, eine Faser, deren beide Theilungsäste zum Tractus opticus der entgegengesetzten Seite ziehen; *d*, Fasern der Gudden'schen Commissur; *e*, innere Fasern der Sehnerven, welche sich in schrägem und etwas verticalem Verlauf kreuzen und dadurch quer geschnitten scheinen. Man sieht, dass die grosse Mehrzahl der Opticusfasern gekreuzt ist; die homolateralen Fasern erscheinen in dem Methylenblaupräparate nicht deutlich.

Methode in dem homolateralen Tractus zu Tage geförderten zu klein und neigen wir zu der Annahme, dass es auch beim Kaninchen einige nicht bifurcirte, homolaterale oder direkte Fasern giebt.

In unseren mittelst experimenteller Degeneration nach der Marchi-

schen Methode gewonnenen Präparaten, ebenso wie bei gut gelungenen Ehrlich'schen und Golgi'schen Färbungen fehlten constant (bei Katze, Kaninchen, Ratte und Maus) diejenigen Fasern, welche, nach einigen Autoren, den Tractus verlassen und in die Habenula eintreten, sowie die jene von Pagano [14]) und Hollendal [15]) kürzlich angenommenen interretinären Commissurenfasern.

Wir resumiren: bei den Nagethieren (Ratte, Maus und Kaninchen) überwiegt fast ausschliesslich das gekreuzte Bündel. Die homolateralen und bilateralen oder bifurcirten Fasern bilden eine unbedeutende Minorität.

Dagegen wächst bei der Katze, dem Hunde, dem Affen und noch mehr beim Menschen die direkte oder homolaterale Bahn ganz beträchtlich und steigt bis auf ein Drittel oder noch mehr der gekreuzten Fasern, mit welchen sie sich innig vermengen, sobald sie mit ihnen im terminalen Theile des Tractus und den primären optischen Centren angelangt sind. Die Behauptungen von Michel und Kölliker beruhen auf offenbaren Irrthümern, die der Unzulänglichkeit der Methode dünner Serienschnitte zuzuschreiben sind.

Neuroglia. Sowohl das Chiasma als auch die Sehnerven besitzen zahlreiche Neurogliazellen, wie schon Petrone mittelst der Golgi'schen Methode nachgewiesen hat. Sie sind gross, sternförmig und gehören zum Typus der mit reichlichen Ausläufern versehenen Neurogliazellen.

Diejenigen des Chiasmas lassen sich in oberflächliche und tiefe unterscheiden.

1. Die oberflächlichen sind länglich und haben 2 Büschel von Fäden: ein aufsteigendes und absteigendes, von denen ersteres in der Pia mittelst einer Gruppe konischer Verdickungen endigt, analog dem, was man an einigen Neurogliazellen der Molecularschicht des Gehirns beobachtet. Am vorderen Rande des Chiasmas, woselbst sich ein zarter Ueberzug von grauer Substanz findet, der sich auf das Infundibulum fortsetzt, sind diese Zellen mit doppelter Strahlung am deutlichsten. 2. Die oberflächlichen Zellen des Chiasmas sind in ausgeprägtem Maasse sternförmig und besitzen lange, dünne Fortsätze, die, zwischen den Markfasern sich kreuzend, einen dichten Plexus bilden, in welchem die transversalen Fasern vorzuherrschen scheinen, transversal mit Beziehung auf die Richtung der Nervenfasern.

Beim Studium von neugeborenen oder fötalen Mäusen oder Katzen wird es leicht ersichtlich, dass sämmtliche im Vorstehenden erwähnten Neurogliazellen aus dem Epithel des Infundibulums stammen. Alle Uebergänge in Lage und Form (vereinzelteres Auftreten nach der Peripherie zu, Verlängerung des Zellkörpers) zwischen den Epithelzellen und den ausgebildeten Neurogliazellen, die im Gehirn und Kleinhirn beschrieben wurden, sieht man klar und deutlich in diesen Präparaten; ein Beweis dafür, dass das Chiasma eine intracerebrale Bildung ist, d. h, histogenetisch vom Infundibulum und vom Boden des mittleren Ventrikels abstammt.

ALLGEMEINE BETRACHTUNGEN UEBER DIE SENSORISCHEN, UND MOTORISCHEN KREUZUNGEN.

Eine der eigenthümlichsten Erscheinungen, welche uns die vergleichende Anatomie der Nervencentren lehrt, ist die Kreuzung der sensorischen und — zum nicht geringen Theil — der sensiblen und motorischen Bahnen.

Diese Kreuzung ist oft eine partielle, indess sind constant die gekreuzten centralen Bahnen wichtiger und stärker als die direkten (Pyramiden-, acustische, optische etc. Bahnen). Schliesslich erscheinen bei den niederen Wirbelthieren (Fischen, Reptilien, Batrachiern und der Mehrzahl der Vögel), ja selbst bei den kleineren Säugethiereu gewisse sensorische Bahnen, z. B. die optische, total gekreuzt. Ein vergleichendes Studium der Nervencentren der Wirbelthiere zeigt, dass in den centralen Bahnen die *totale* Kreuzung eine entwicklungsgeschichtliche Phase darstellt, die der partiellen voraufgegangen ist, welche letztere nur bei den relativ höher entwickelten Thieren auftritt, und dass ferner die totale Kreuzung gleichzeitig mit der Bildung eines Encephalons, daher mit der Centralisation der sensorischen Eindrücke und der motorischen Impulse sich geltend macht.

In der That, beim Amphioxus, bei den Würmern, bei denjenigen Thieren, bei welchen keine genügende sensorische Centralisation existirt und die Medulla oder die sie vertretende Ganglienkette fast ausschliesslich der Aufnahme der centripetalen Impulse dient, giebt es keine centralen Bahnen im eigentlichen Sinne des Wortes, sondern nur intra-

ganglionäre Wege, direkte und gekreuzte Reflexe, und zwar vorwiegend direkte, wegen des bei weitem häufigeren Vorkommens der homolateralen motorischen Reactionen. Zum Beweise dessen erinnere man sich an die Anordnung der intraganglionären Bahnen der Würmer, wie sie von Lenhossék und Retzius beschrieben wurde, und an die Organisation der Strang- und Commissurenzellen des Rückenmarks der Wirbelthiere, wie sie durch meine Untersuchungen und diejenigen Lenhossék's, Kölliker's, Retzius', van Gehuchten's und Anderer klargelegt worden ist.

Aus welchen Gründen wird nun beim Erscheinen der centralen Bahnen des Encephalons in der phylogenetischen Reihe dieser Bauplan verlassen? Warum ist, scheinbar dem gesunden Sinne zum Trotz, die Bahn der motorischen und sensorischen Erregungen vorwiegend eine gekreuzte? Welchen Vortheil hat der Organismus von dieser Einrichtung? — Fragen, welchen Physiologen und sogar Philosophen ihre volle Aufmerksamkeit zugewandt haben, ohne dass sie bis jetzt, soweit uns bekannt, in befriedigender Weise beantwortet worden wären. Es handelt sich hier nicht darum, die wirkende Ursache, die geheimen Ressorts physikalisch-chemischer Kräfte zu erforschen, welche diese Anlage geschaffen haben, sondern den Nutzen begreifen zu lernen, den sie dem Organismus bringt, das Motiv, nach welchem die natürliche Auswahl oder andere noch unbestimmte Bedingungen die gekreuzten Nervenbahnen eingerichtet, befestigt und progressiv vermehrt haben.

Das Ueberwiegen der gekreuzten Bahnen ist eine um so seltsamere Erscheinung als die Natur aus Vernunftsgründen und bei ausschliesslich ökonomischen Rücksichten die entgegengesetzte Anordnung hätte treffen müssen. In der That muss jede von einem Punkte der Haut oder eines Sinnesorgans kommende Erregung coordinirte Reflexe und bewusste Reactionen bilateralen Charakters bewirken können; jedoch stehen bei diesem synergetischen Ineinandergreifen von Abwehrhandlungen immer diejenigen im Vordergrund, welche den Muskeln der von dem Reize getroffenen Seite der empfindenden Oberfläche entsprechen, wobei zu bemerken, dass sehr oft die motorische Antwort eine ausschliesslich homolaterale ist.

Inmitten dieser Zweifel scheint uns eins der Discussion nicht weiter zu bedürfen, nämlich dass die Decussation zuerst in den sensorischen Bahnen geschaffen worden ist (optische, sensible etc.,

sämmtlich bei den niederen Wirbelthieren); mit nothwendiger Consequenz ergab sich daraus die Kreuzung im entgegengesetzten Sinne bei den motorischen Bahnen, denn es ist klar, dass, sobald einmal, aus unbekannten Gründen, gekreuzte, centripetale Leitungen in überwiegender Mehrzahl angelegt waren, dies unmittelbar die Einrichtung centrifugaler Bahnen, welche die Kreuzung aufheben, d. h. absteigende Systeme zur Folge hatte, welche im entgegengesetzten Sinne gekreuzt und dazu bestimmt sind, die willkürliche, motorische Reaction hauptsächlich nach der Seite zu befördern, von wo die Erregung kam.

Diese Erwägung schränkt das Feld unserer Speculationen wesentlich ein. Denn sicherlich beruht die Schwierigkeit des Problems jetzt nur darin, den Nutzen der sensorischen Kreuzungen zu erklären, besonders der optischen, die den übrigen vielleicht voraufging. Nach Erledigung dieses Punktes wird sich das Verständniss für die Anordnung der centralen Associations- und motorischen Bahnen leicht von selbst erschliessen, denn sie stellen nichts Anderes als functionelle und ökonomische Anpassungen an die gekreuzten sensorischen Leitungen dar.

Prüfen wir nun nach einander die sensiblen Kreuzungen und beginnen wir mit der optischen Bahn.

Optische Bahn der niederen Wirbelthiere. Wir sahen bereits, dass die Sehnerven der Fische, Batrachier, Reptilien und Vögel sich vollständig kreuzen; daher werden sich die vom rechten Auge aufgenommenen Bilder auf den linken bezw. entgegengesetzten Lobulus opticus projiciren. Dass der Lobulus opticus bei den niederen Wirbelthieren der Ort des geistigen Sehens ist, beweist einerseits die Thatsache, dass die Abtragung der Hirnhemisphären keine Blindheit bewirkt, andererseits das Fehlen centraler oder für das Vorderhirn bestimmter optischer Bahnen, das durch die Forschungen Edinger's und anderer Anatomen festgestellt worden. Die einzigen aus dem Lobulus opticus stammenden Bahnen sind absteigende und müssen als solche reflectorisch-motorischer Natur betrachtet werden (Accommodation der Linse, Bewegungen des Auges, der Iris, des Kopfes und des Halses).

Erst bei den Vögeln, und vielleicht nicht bei allen, beginnt sich eine centrale optische Bahn zu bilden, d. h. eine dritte Serie von Neuronen, die dazu dienen, den Lobulus opticus mit der Hirnrinde zu ver-

binden, in welche sich, nach den physiologischen Beobachtungen von Munk, das Netzhautbild projiciren dürfte.

Aber, abgesehen von einigen Vögeln, besteht bei sämmtlichen niederen Wirbelthieren die optische Bahn nur aus zwei Neuronen (die bipolaren der Retina und die die Sehnerven erzeugenden Ganglienzellen), von denen das innere im Lobulus opticus endet und mittelst freier Verzweigungen mit den Protoplasmafortsätzen der Zellen dieses Centrums sich in Contakt setzt, eine Anordnung, die zuerst von mir bei den Vögeln entdeckt und später von meinem Bruder bei den Fischen, Reptilien und Batrachiern bestätigt worden ist. Bei allen diesen Thieren muss die erwähnte Verbindung von Protoplasma- und Nervenfortsatz der Gesichtswahrnehmung zum Substrat dienen, sei es, dass sich hier der centripetale Strom in einen centrifugalen oder in einen reflectorisch-motorischen umwandelt.

Welches ist nun aber die Gestalt des in den Lobulus opticus projectirten Bildes? Die folgenden Schemata stellen die centrale optische Projection dar und begründen vollständig die Berechtigung der Sehnervenkreuzung. Bekanntlich besitzen die Augen der niederen Wirbelthiere kein gemeinsames Sehfeld; jedes giebt ein besonderes Bild, nicht superponibel, sondern entsprechend den Objecten, die einen verschiedenen Ort im Raum einnehmen. Diese Form des Bildes, welche wir die panoramische nennen wollen, lässt sich vergleichen mit derjenigen, welche man erhält, wenn man im Panorama 2 Photographien zweier zusammenhängender Flächen einer Landschaft, welche kein Object gemeinsam hat, verbindet. Die niederen Wirbelthiere sehen daher ohne Relief; denn da sie kein gemeinsames Sehfeld haben, so fehlt bei ihnen die Convergenz der Augen und die identischen Netzhautpunkte, unerlässliche Bedingungen des stereoskopischen Sehens. Zum Ersatz dafür jedoch nehmen sie, die Bilder beider Augen summirend, ein sehr ausgedehntes Panorama wahr, entsprechend einem enorm weiten Winkel (der Summe der Winkel der beiden Augenöffnungen), was dem Thiere gestattet, momentan jeden Gegenstand wahrzunehmen, vor dem es fliehen oder gegen den es sich vertheidigen muss. Diese Anordnung ist um so werthvoller, als zufolge des Sparsamkeitsprincips, das die Natur sehr streng bewacht und innehält, mit Rücksicht auf diese bedeutende Aus-

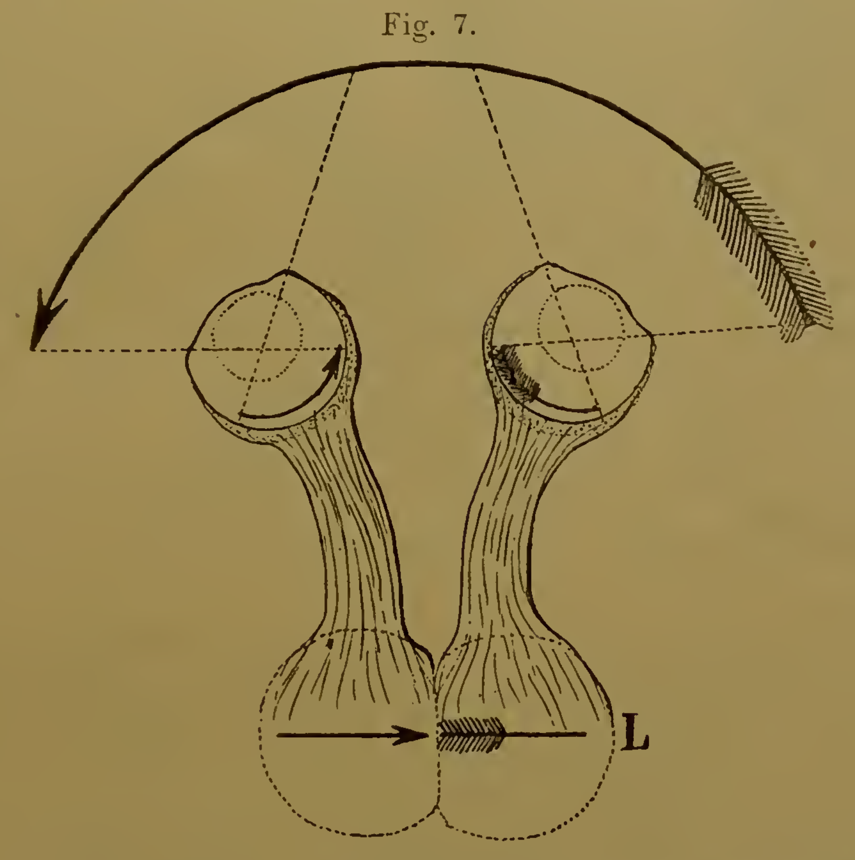
dehnung des Sehfeldes die Bewegungen der Augen und des Kopfes der Fische, Batrachier und Reptilien ziemlich beschränkt sind.

(Die Physiologen und besonders Wundt haben behauptet, dass die Wirbelthiere, welche kein gemeinsames Sehfeld besitzen, abwechselnd mit dem einen und dem anderen Auge sehen. Nach meiner Meinung geschieht das Sehen gleichzeitig. Wäre dem nicht so, so würde die Binocularität vollständig überflüssig sein; ein einziger Augapfel, mit einer ergiebigen Bewegungsfähigkeit ausgestattet und in einem Kopfe befindlich, der in zahlreichen Richtungen bewegt werden kann, würde dasselbe leisten wie zwei. Andererseits habe ich mich durch physiologische Experimente, auf deren Details ich hier nicht näher eingehen kann, vergewissert, dass die Maus, der Sperling und die Reptilien mit beiden Augen sehen. Wäre das Sehen ein abwechselndes, so gäbe es Momente, in welchen ein Object, das rasch von rechts kommt und schnell verschwindet, beim Thier keine Reactionen hervorrufen würde, während gerade das Entgegengesetzte eintritt. Man erinnere sich auch daran, dass man selbst, wenn auch unvollkommener und undeutlicher Weise, das panoramische Sehen, d. h. die doppelte gleichzeitige optische Empfindung an sich erfahren kann, wenn man die Convergenz der Augenaxen stört. Trotzdem ist es uns unter solchen Umständen, selbst wenn wir die Fertigkeit besässen, die Augen so auseinander zu richten, dass ihre Axen einen solchen Winkel wie bei den niederen Vertebraten bildeten, nicht möglich, zu einem vollständig panoramischen Sehen zu gelangen, weil uns daran die Gegenwart des direkten Bündels und die daraus folgende Präexistenz der identischen Netzhautpunkte hindert. Auf dieser präexistirenden Anordnung beruht die Undeutlichkeit des geistigen Bildes bei Diplopischen, weil beide Copien der Wirklichkeit, auch wenn sie ganz verschieden sind, sich nicht in zwei getrennte cerebrale Felder projiciren, sondern in das einzige existirende, das nicht im Stande, sich weiter auszudehnen. Jedenfalls ist es zweifellos, dass, im Princip, auch der Mensch fähig ist, in einem Moment zwei verschiedene Bilder zu sehen, wozu wir bemerken, dass nach den Behauptungen einiger Physiologen das wirklich panoramische Sehen sich noch in bestimmten Regionen des Retina erhält, die keine identischen Punkte und kein direktes Bündel haben.)

Das Schema 1, Fig. 7, zeigt Gestalt und Richtung des geistigen optischen Bildes unter der Voraussetzung, dass es keine Kreuzung der Sehnerven gäbe. Die Incongruenz beider Bilder tritt deutlich zu Tage: das durch das rechte Auge projicirte passt nicht zu dem linken, und es wäre unmöglich, dass das Thier beide Bilder zu einer zusammenhängenden Vorstellung vereinigen könnte. Der Horizont würde sich präsentiren wie eine panoramische Ansicht, die aus 2 Photographien, einer aufrechten und einer seitlich umgekehrten, gebildet ist.

Prüfen wir nun das geistige Bild, wie es sich nach der Kreuzung

Fig. 7.



Schema zur Demonstration der Incongruenz der geistigen Projection der Bilder beider Augen bei Annahme, dass keine Optionskreuzung existirt.
L, Lobuli optici.

der Sehnerven gestaltet, nachdem eine solche in den Linsenaugen von der Natur eingerichtet worden ist. Das Schema 2, Fig. 8, zeigt mit grösster Beweiskraft, dass, dank dieser Kreuzung, beide Bilder, das rechte und das linke, einander correspondiren und ein zusammenhängendes Ganzes bilden, während die bei der Voraussetzung des Mangels einer Kreuzung unvermeidliche seitliche Inversion schwindet.

Diese Schemata, sowie diejenigen, welche sich auf die Localisation

anderer Sinnesvorstellungen in der Hirnrinde beziehen, von denen wir später zu sprechen haben, gestatten einige Sätze zu formuliren, die wir uns bei der Interpretation des Mechanismus des Gehirns gegenwärtig halten müssen:

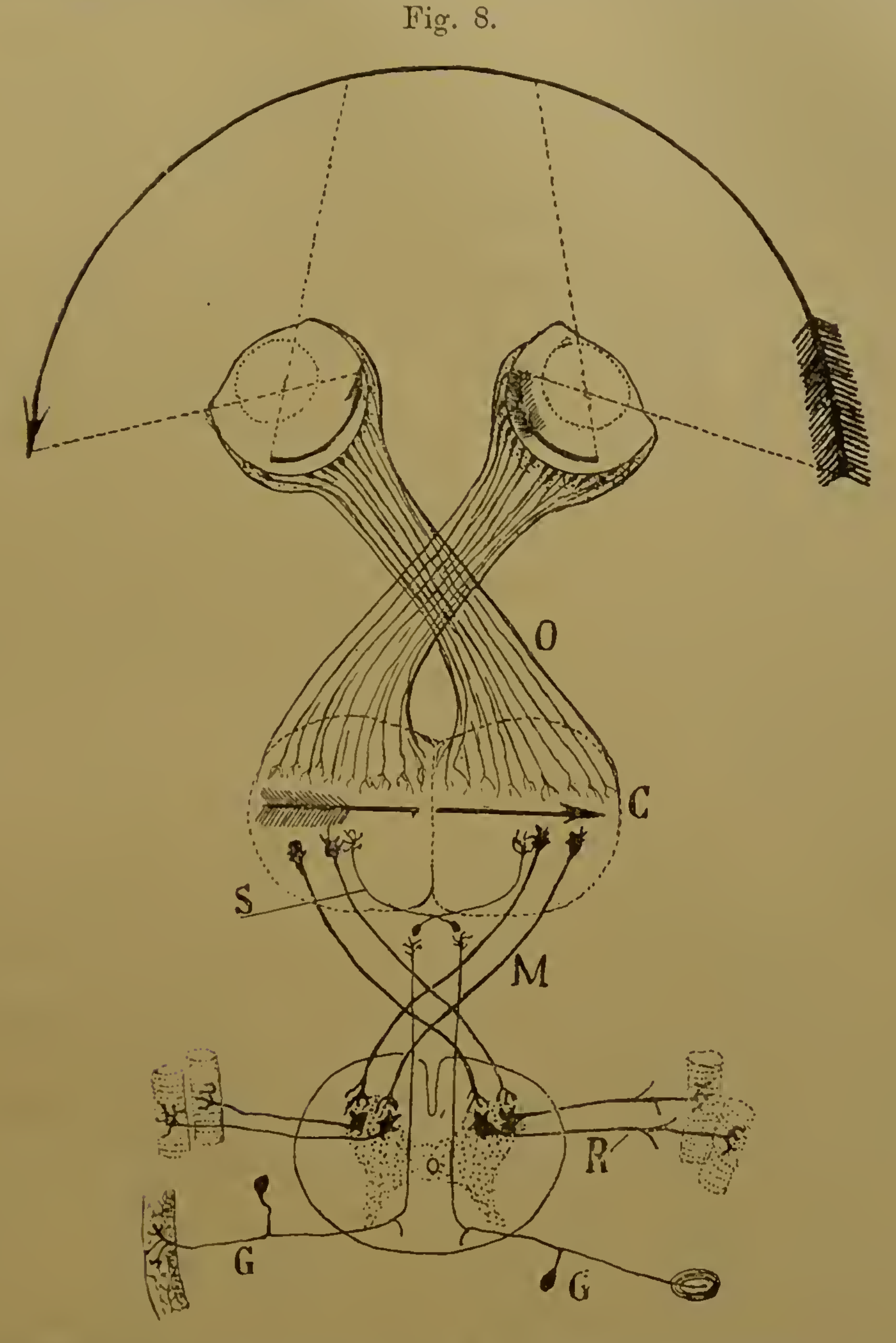
1. Bei den niederen Wirbelthieren übermittelt jedes Auge, und wir könnten sogar sagen jeder Raumsinn, dem Gehirn die auf seiner Seite gesammelten Eindrücke der Objecte, und vermöge der Kreuzungen besteht die sensorische Hirnrinde aus zwei Flächen, einer rechten, welche dem linken Raum, und einer linken, welche dem rechten entspricht. 2. Das geistige Bild ist immer ein einheitliches und entsteht aus der continuirlichen Nebeneinanderstellung der beiden Sinnesprojektionen; so dass das Gehirn eine Art centraler Retina wird, die Summe der beiden peripheren Netzhäute, jedoch vertheilt auf 2 symmetrische und einseitige Flächen. 3. Die Kreuzung der Sehnerven ist begründet durch die Nothwendigkeit die seitliche Inversion der beiden Bilder, welche durch die Wirkung der Linsen veranlasst ist, zu rectificiren. 4. Es existirt im Gehirn keine functionelle Duplicität oder, mit anderen Worten, die symmetrischen Punkte jedes Lobulus opticus oder jeder Hemisphäre, auch wenn sie dieselbe Sinneswahrnehmung empfangen, haben nicht die gleiche Bedeutung, da sie stets verschiedenen Punkten im Raum entsprechen.

Die vorstehenden Erwägungen lassen sich vielleicht auch auf die Function des cerebroiden Ganglions der wirbellosen Thiere anwenden, besonders der Insekten, Spinnen und Mollusken, Thieren, die mit wohl entwickelten Augen ausgestattet sind; leider sind die positiven Beobachtungen, welche wir über den Verlauf der Opticusfasern besitzen, zu dürftig, um darauf bestimmte physiologische Schlüsse aufzubauen. Der Sehnerv, d. h. das zweite optische Neuron, findet sich nach den Untersuchungen von Lenhossék bei den Cephalopoden, nach denen von Kenion bei den Insekten, von Navias bei den Gasteropoden etc., und zwar mitten im Gehirn verborgen, und seine detaillirte Analyse ist ausserordentlich schwierig, weshalb es nicht möglich zu erfahren, ob bei ihnen eine totale Kreuzung besteht wie bei den niederen Wirbelthieren.

Zieht man indess die Art des Sehens bei den wirbellosen Thieren und die Grundsätze, welche wir formulirt haben, in Betracht, so ergiebt

Thieren, d. h. solchen, welchen die Gegenstände auf der Netzhaut um-
sich mit Wahrscheinlichkeit, dass bei den mit Linsenaugen ausgestatteten

Fig. 8.



Schema zur Demonstration der Wirkung der totalen Kreuzung des Sehnerven bei einem niederen Wirbelthier (Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel oder Säugethiere mit panoramischem Sehen). Man sieht, dass, zufolge dieser Kreuzung, die beiden geistigen Bilder ein continuirliches Ganzes bilden.

O, gekreuzte Sehnerven; *C*, primäre und secundäre optische Centren; *M*, gekreutzte motorische Bahn; *S*, gekreuzte centrale sensible Bahn; *K*, motorische Wurzeln des Rückenmarks; *G*, Rückenmarksganglien und sensible Wurzeln.

gekehrt erscheinen (Mollusken, gewissen Arachniden) der Sehnerv total gekreuzt ist und dass es bei den Thieren mit Mosaiksehen, wie den In-

sekten und Crustaceen, keine Decussation giebt. Es ist in der That bekannt, dass bei diesen Thieren, wie schon Müller lehrte und Huxley, Lubbock, Plateau, Exner u. a. bestätigten, die Augen sich mit einem Bündel feiner Röhren vergleichen lässt, deren jede auf einen bestimmten Ort im Raum gerichtet ist. Das resultirende Bild ist ein Mosaik dunkler und heller Punkte (ähnlich einem punktförmigen photographischen Bilde), welche, ohne verticale oder laterale Umkehrung, bestimmten Flächen im Raume entsprechen. Das geistige Bild, die Summe der beiderseitigen optischen Eindrücke wird ebenfalls ein panoramisches, continuirliches sein und auf diejenige Seite des cerebroiden Ganglions vertheilt werden, welche den äusseren Objecten entspricht. Unter diesen Umständen wäre eine Kreuzung der Sehnerven höchst nachtheilig, da sie eine seitliche Inversion der Hälften der centralen Sehvorstellung verursachen würde.

Es ergiebt sich daraus, dass die totale Opticuskreuzung keine mit der Schöpfung des Auges in der Thierreihe gleichzeitige Erscheinung ist; die Kreuzung tritt mit dem Linsenauge auf und war veranlasst durch die Nothwendigkeit, die laterale Inversion, die durch den Mexanismus der doppelten Camera obscura an den beiden Hälften des geistigen Bildes der Vertebraten hervorgerufen wird, zu corrigiren.

Optische Bahnen und geistiges optisches Bild bei den Säugethieren. Das gemeinsame Sehfeld, welches durch den Parallelismus der Augenaxen entsteht, ist das Charakteristische des Sehvorgangs bei den höheren Säugethieren (Mensch, Affe, Hund etc.).

Dieser Parallelismus erzeugte als begleitendes anatomisches Phänomen das direkte Bündel, welches bekanntlich beim Hund, bei der Katze und dem Affen umfangreicher wird und beim Menschen seine grösste Stärke erreicht. Wir haben schon früher gesehen, in Uebereinstimmung mit der Meinung Singer's und Münzer's, dass bei der Ratte, der Maus, dem Meerschweinchen und Kaninchen, die grosse Mehrzahl der Opticusfasern sich kreuzt, was mit dem Mangel eines gemeinsamen Sehfeldes wohl harmonirt, und folglich auch mit dem Fehlen identischer Punkte in der Netzhaut dieser Thiere. Es ist sehr wahrscheinlich, dass zwischen dem Sehen mit gemeinsamem Sehfeld beim Menschen und dem panoramischen Sehen beim Kaninchen Uebergänge existiren; so glauben wir, dass das Rind, der Esel, die Ziege und das Pferd mit einem ge-

mischten Sehfeld ausgestattet sind, einem panoramischen oder speciellen in fast der ganzen Ausdehnung der Netzhaut und einem gemeinsamen und mit identischen Punkten in der äusseren Partie derselben, oder an der Stelle, wohin sich das Bild der vor der mittleren Ebene gelegenen Objecte projicirt. Kürzlich hat Dexler[16]) das Chiasma des Pferdes studirt und dabei ebenfalls das Vorhandensein gekreuzter und direkter Fasern beobachtet; letztere sollen nur den achten Theil der gekreuzten bilden. Selbst beim Menschen bleibt ein Rest des panoramischen Sehens.

Wenn die Natur auf einen so positiven Vortheil, wie ihn eine bedeutende Ausdehnung des Sehfeldes bietet, verzichtet, so wird dies nicht ohne entsprechende Entschädigung geschehen, ohne andere Mechanismen zu adoptiren, welche noch die Qualität der Vorstellung der Aussenwelt zu verbessern gestatten. In der That functioniren mittelst des Parallelismus der Augenaxen die beiden Augen wie ein einziges, vorausgesetzt, dass sie gleichzeitig dasselbe Object copiren; jedoch wurde diese Reduction des Sehfeldes von einem neuen Phänomen begleitet, von der Perception der Tiefe oder der dritten Dimension, eine Wahrnehmung, welche bei den unteren Gliedern der Thierwelt und selbst bei der Mehrzahl der Säugethiere noch unbekannt ist. Ausserdem wächst zum Ersatz für diesen Verlust die Beweglichkeit der Augen, des Kopfes und Rumpfes ganz beträchtlich.

Das, dank den geistreichen Arbeiten von Wheatstone und den ergänzenden Forschungen von Brewster, Brücke, Le Conte u. A. heute wohl bekannte eigenthümliche stereoskopische Phänomen entsteht, wie man weiss, aus der (in Folge Convergenz der Sehaxen) successiven Projection der verschiedenen Ebenen eines Gegenstandes auf die identischen Punkte beider Netzhäute. Beim einfachen binoculären Sehen, d. h. wenn die Objecte in der Unendlichkeit oder in einer und derselben Ebene gelegen sind (Zeichnungen, Photographien etc.), verharrt das Auge, sobald die Convergenz hergestellt ist, in Ruhe; wenn es sich jedoch um die Wahrnehmung des Reliefs eines sehr nahen Gegenstandes handelt, wobei die Bilder rechts und links ungleich sind, so bleibt, um die verschiedenen Ebenen beider Bilder in correspondirende Sectoren der beiden Netzhäute zu bringen, kein anderer Ausweg übrig, als alternirende Bewegungen der Convergenz zu vollführen, und zwar um so genauere, je enger umgrenzt das betrachtete Object ist.

In Folge dessen findet beim binoculären stereoskopischen Sehen eine Muskelthätigkeit statt, deren Anstrengung, vermittelt durch das Gehirn, nach einigen Autoren, die subjective Erscheinung der Wahrnehmung des Reliefs ist. Vor einiger Zeit haben Hillebrand, Greef und Andere versucht, die Bedeutung, welche das Bewusstsein der Muskelanstrengung bei der Convergenz der Augen für die Wahrnehmung hat, zu leugnen; jedoch behaupten March, Javal und Bourdon[17]), dass die Convergenz für diese Perception unerlässlich ist, und meinen, dass der Grad derselben mit gewisser Genauigkeit die Entfernung angiebt, in welcher sich ein Object befindet, und dadurch die Wahrnehmung seiner Tiefe im Raum.

Es liegt hier nicht in unserer Absicht, den Mechanismus des binoculären und stereoskopischen Sehens zu studiren. Wir werden später einige besondere Bemerkungen darüber machen. Für den augenblicklichen Zweck genügt es, die Aufmerksamkeit auf die interessante, von den Gelehrten und besonders von Edinger bereits beobachtete Thatsache zu lenken, dass in dem Maasse, als sich das gemeinsame Sehfeld etablirt, das direkte Bündel vermöge einer anatomisch-physiologischen Anpassung sich entwickelt. Diese ausserordentliche Erscheinung der Anpassung ist ohne Zweifel einer der schwierigsten Punkte, der sich der landläufigen Lehre von der natürlichen Auswahl entgegenstellen kann. In Wirklichkeit würde man sich, in Uebereinstimmung mit den Grundlehren des Darwinismus, ein Säugethier mit panoramischem Sehen vorzustellen haben, welches, vermöge Variation, die Beweglichkeit seiner Augen bis zu dem Punkte zu steigern vermocht hätte, dass ein Theil des Sehfeldes superponirt wird; da jedoch diese Veränderung, *ohne begleitende Bildung eines direkten Bündels*, die Diplopie, d. h. eine grobe Sehstörung verursacht hätte, so versteht man nicht, wie die natürliche Auswahl eine Anordnung, die für das damit behaftete Thier notorisch nachtheilig, treffen und allmählich steigern konnte. Dazu, dass die Selection in diesem Falle wirken könnte, müsste man annehmen, dass mit dem Erscheinen des gemeinsamen Sehfeldes die Kreuzung bei einem Theile der gekreuzten Fasern des Sehnerven unmittelbar aufgehoben wurde, speciell diejenigen, welche den äusseren oder temporalen Sectoren beider mit gleichen Bildern bedeckten Netzhäute entsprechen, weil nur unter

dieser Bedingung die erwähnte Aenderung der Sehaxe von Nutzen wäre. Man muss jedoch gestehen, dass diese augenblickliche, ohne Uebergänge stattfindende anatomische Anpassung absolut unbegreiflich wäre. Die Schwierigkeit wächst noch, wenn wir überlegen, dass die Netzhautpunkte eines gemeinsamen Bildes nicht nur die erwähnte Aufhebung der Kreuzung veranlassen müssten, sondern auch den Eintritt der direkten Fasern gerade an derselben Stelle der optischen Ganglien (und mittelst neuer Neurone im selben Punkte des Gehirns), wo sich die gekreuzten Opticusfasern der entgegengesetzten Seite verzweigen, d. h. diejenigen, welche in der Hirnrinde das gleiche Stück des optischen Bildes darzustellen haben, und dies Alles ohne intermediäre Maassnahmen, da ja die erwähnte Anordnung nur nützlich sein kann, wenn sie in allen ihren Theilen fertig war.

Verlassen wir jedoch für jetzt diesen Punkt und untersuchen wir die Art der optischen Projection im Gehirn.

Bei den Säugethieren besitzen die Sehbahnen ein Neuron mehr; aus den primären optischen Centren, dem Endpunkt der Sehnerven (vorderer Vierhügel, Corpus geniculatum externum und Pulvinar) entspringt ein neuer, ausschliesslich direkter Weg, welcher, ins Gehirn hinaufsteigend, in der Occipitalgegend desselben endet. Die terminale Verbindung von Axencylinder und Protoplasmafortsatz, jene Verbindung, in welcher sich der centripetale optische Strom in einen centrifugalen umwandelt und an welcher wahrscheinlich die Empfindung entsteht, ist bei den Säugethieren weiter gewandert, der Production der visuellen Reflexe nichts weiter als den vorderen Vierhügel oder den reducirten Lobulus opticus übrig lassend. Den Ort und die Gestalt des centralen optischen Bildes kennt man heute ziemlich genau, dank den ausgezeichneten Forschungen von Munk[18]), die durch klinische Beobachtungen wie durch das Thierexperiment bestätigt worden sind (Steiner[19]), Monakow[20]), Henschen[21]), Sachs[22]), Gillet und Vialet[23]) und Andere). Diese Gelehrten haben es ausser Zweifel gestellt, dass beim Menschen für das geistige Sehen eine mehr oder weniger ausgedehnte Zone an der inneren Fläche der Occipitallappen existirt, nämlich die Fissura calcarina, der Cuneus und die Nachbarschaft, Zonen, in denen eine wirkliche Projection der Retina stattfindet. Nach Munk, Henschen und Vialet wird

jeder Netzhautquadrant, sowie die Macula von verschiedenen Flächen des erwähnten Rindengebietes repräsentirt.

Die wichtigste der von Munk gefundenen Thatsachen ist jedoch die, dass jede Hemisphäre sich in ihrer Sehrinde ausschliesslich mit den homologen Flächen beider Netzhäute verbindet, d. h. das rechte Gehirn die optischen Fasern und demzufolge das Bild der rechten Hälften der beiden Netzhäute empfängt, während sich das linke mit den Fasern der linken Hälften verbindet und deshalb die Projection der entsprechenden Hälfte des Bildes aufnimmt. Dass diese Verbindung wirklich besteht, lehren auch die Kliniker, da man in den Fällen homonymer Hemianopsie (Blindheit der beiden rechten oder linken Hälften der Netzhäute) eine monolaterale Läsion der Sehsphäre der Rinde oder der tiefer gelegenen optischen Bahnen der gleichen Seite findet. Das Schema in Fig. 9 zeigt, in Uebereinstimmung mit diesen Angaben, die Form der optischen Projection im Gehirn. Das Bild ist in Beziehung auf das Object seitlich invertirt; jedoch bildet jede Hälfte desselben, auf eine Hemisphäre projicirt, ein continuirliches Ganzes, wie dies auch bei den niederen Wirbelthieren der Fall.

Der grösseren Klarheit wegen zeigt das Schema das Bild geradlinig und wie wenn es von oben betrachtet würde. Es versteht sich von selbst, dass, da die Rinde gefaltet und ausserdem die Sehregion durch den Hemisphärenspalt getheilt ist, die wirkliche Projection des geistigen Bildes viel complicirter sein und ebenso viele Krümmungen haben muss wie die Windungen der entsprechenden Sphäre. Für den Effect des deutlichen Sehens und einer naturgetreuen Projection machen diese Unregelmässigkeiten und Fehler der Continuität wenig aus, da das, was dieser Projection oder der Verlegung des optischen Eindrucks nach aussen Form giebt, nicht die Gestalt des cerebralen Feldes ist, sondern die der Zapfen- und Stabschicht der Retina. Wir glauben indess, dass sich im geistigen Bilde alle Punkte des Objects in derselben Reihenfolge dargestellt finden, in welcher sie auf die Retina projicirt sind; die cerebrale Retina lässt sich in dieser Beziehung mit einer wohl gelungenen Photographie vergleichen, deren Papier oder Ueberzug gerunzelt ist.

Die Duplicität der Empfindung, welche, a priori, bei dem Vorhandensein eines gemeinsamen Sehfeldes unvermeidlich scheint, ist in sinn-

reicher Weise umgangen worden dadurch, dass die homolateralen und von entgegengesetzter Seite kommenden optischen Fasern, welche gemeinsamen Punkten der Retina entsprechen und deshalb Träger desselben Stückes des Bildes sind, in derselben Gruppe von Pyramidenzellen zusammenlaufen.

Deshalb setzt das Auftreten des direkten Bündels keinen Verzicht auf die Vortheile der Kreuzung voraus. Diese bestehen fort, weil nach Kreuzung der Hauptbahn des Sehnerven immer das in das rechte Gehirn projicirte Bild sich in das in das linke gezeichnete fortsetzt. Ueberdies ist nach Vertheilung der Vorstellung auf zwei Gehirne (das linke, wo die auf unserer rechten Seite gelegenen Objecte projicirt sind und das rechte, wo sich die der linken Seite abspiegeln) die Kreuzung der willkürlichen motorischen Hauptbahn ebenfalls unerlässlich, weil beim Menschen wie bei den Vertebraten mit panoramischem Sehen es ebenso nothwendig war, die Kreuzung der sensorischen Erregung aufzuheben, um mit dem der Seite der Objecte entsprechenden Muskelapparat wirken zu können.

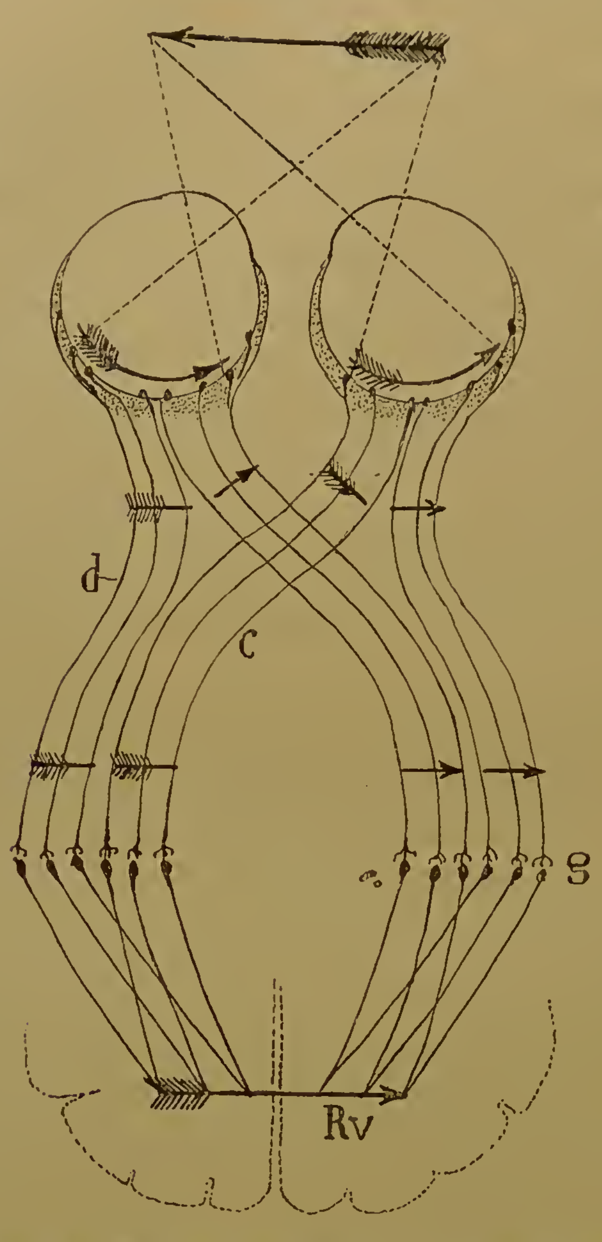
Man kann sich den Nutzen einer anatomischen Einrichtung nicht besser verständlich machen, als indem man sich dieselbe durch verschiedene andere ersetzt vorstellt. Nehmen wir z. B. an, dass der Sehnerv des Menschen gänzlich gekreuzt wäre und jede theilweise Aufhebung der Kreuzung fehlte, sowohl in den primären optischen Centren wie bei den cerebralen; das nothwendige Resultat würde sein, einerseits die Diplopie, d. h. die Erzeugung zweier gleicher Bilder, deren jedes ganz auf eine Hemisphäre projicirt würde, und andererseits der Mangel der Reliefwahrnehmung wegen der Unmöglichkeit beide Netzhautprojectionen in eine zu vereinen.

Stellen wir uns vor, dass die Sehnerven keine gekreuzten Bahnen besässen und dass der homolaterale Charakter sich bis ins Gehirn erhielte; die natürliche Consequenz wäre ebenfalls die Diplopie, d. h. die Bildung zweier gleich gerichteter geistiger Bilder, jedes in einer Hemisphäre, ohne dass die Verdoppelung des Bildes compensirt würde, sowie andere bedeutende Nachtheile.

Denken wir uns noch, dass die direkten optischen Bündel im Gehirn nicht zu denselben Punkten ziehen, wo die gekreuzten Fasern, welche

dasselbe Stück des Bildes befördern, enden; die nothwendige Folge wäre ebenfalls die Verdoppelung der Wahrnehmung in der Weise, wie es der

Fig. 9.



Schema zur Demonstration des beim Menschen und den mit gemeinsamem Sehfeld ausgestatteten Säugethieren durch Synthese der beiden vom Sehnervenpaar übermittelten Objectvorstellungen gebildeten geistigen Bildes.

d, homolaterales optisches Bündel; *c*, gekreuztes Bündel; *g*, Corpus geniculatum externum und Pulvinar; *Rv*, Sehsphäre des Gehirns mit der Gestalt der geistigen Projection.

Fall, wenn durch künstliche Ablenkung der Augenaxen und Verhinderung der Convergenz das Bild sich nicht in identischen Punkten beider Netzhäute projicirt.

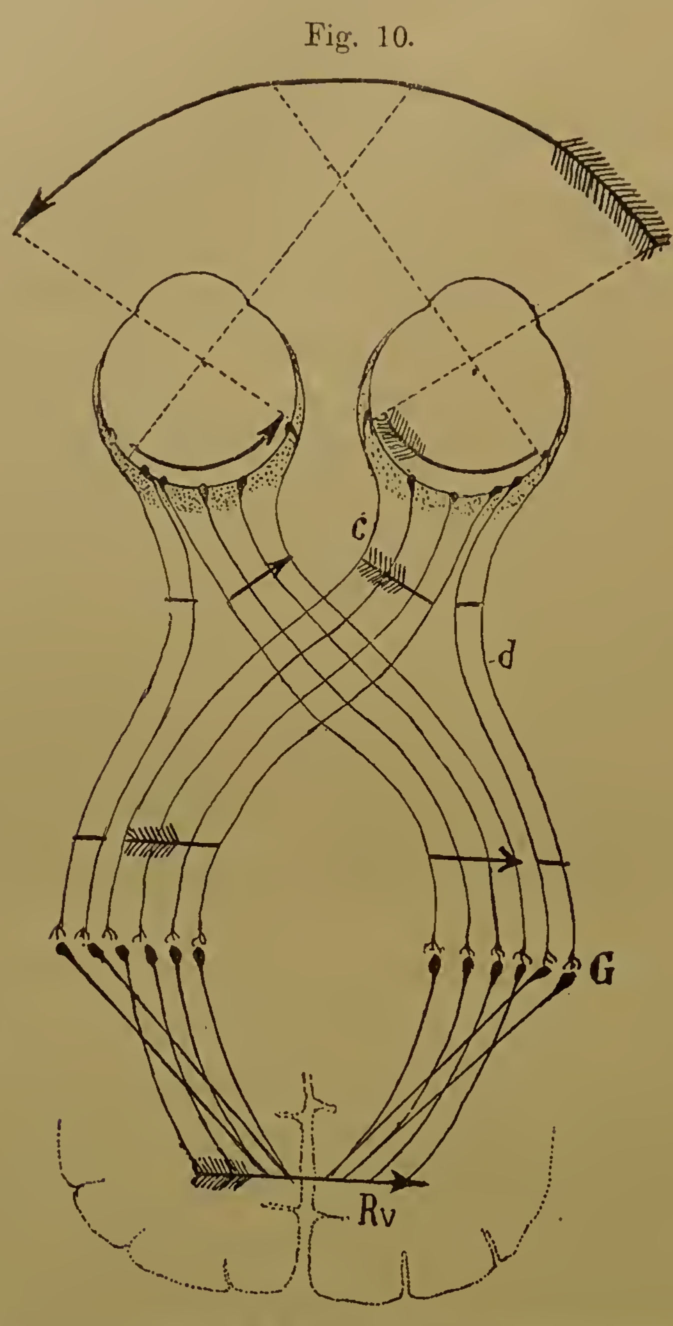
Nehmen wir schliesslich an, Fig. 10, dass das direkte Bündel im Vergleich zum gekreuzten sehr klein wäre, eine Einrichtung, welche, wie wir früher sagten, eine gewisse Schrägheit der Augenaxen und die Existenz eines kleinen gemeinsamen Sehfeldes in beiden Netzhäuten bedingen würde; in diesem Falle würde die Empfindung des Reliefs und demzufolge die Verschmelzung des doppelten Bildes nur in einem Theile desselben statthaben, nämlich in dem kleinen Theil, welcher den vor der mittleren Ebene des Thieres gelegenen Objecten entspricht; der Rest der geistigen Projection würde ein einfaches panoramisches Bild liefern, ganz das gleiche, wie es sich den niederen Wirbelthieren bietet. Diese letzte Annahme ist keine blosse Hypothese, sondern eine positive Thatsache, die sich bei vielen Säugethieren (Pferd, Rind, Ziege, Esel etc.) nachweisen lässt, bei welchen das Sehen ein gemischtes genannt werden könnte, da es für den grösseren Theil des Sehfeldes panoramisch, für den kleineren stereoskopisch ist.

Selbst beim Menschen haben die peripheren Partien der Netzhaut, besonders an der inneren Seite, keine identischen Punkte, woraus nicht nur der Mangel des Reliefs an den in diesen Zonen sich projicirenden Objecten, sondern auch das Überwiegen des gekreuzten Bündels verständlich wird.

Aus allem Diesem geht hervor, dass die Natur bei der Anlage der optischen Projection vor Allem zwei Dinge vorweggenommen hat: 1. dem Princip der concentrischen Symmetrie treu zu bleiben, welches die Lage und Verbindung aller Nervencentren beherrscht. So entspricht in dem Rückenmark jede verticale Hälfte einer verticalen Hälfte auch der sensiblen Oberflächen, was uns nicht befremdet, wenn wir uns erinnern, dass, phylogenetisch und ontogenetisch betrachtet, die Cerebrospinalaxe nichts weiter ist, als eine fortgewanderte und in einem engen Futteral concentrirte Hautfläche. In diesem Futteral, das von einer ektodermatischen Einstülpung gebildet wird, entsteht die rechte Wand aus dem rechten Ektoderm, die linke aus dem linken. 2. Das zweite Princip, welchem die Natur huldigt, ist die Einheit der Empfindung; um diese zu erzielen, hat sie das direkte Bündel geschaffen und hat sie ausserdem einen grossen Theil des Gehirns in eine riesige Retina verwandelt, die in 2, auf je eine Hemisphäre localisirte Hälften getheilt

ist, deren eine die zu unserer Rechten gesehenen Objecte, die andere die zur linken repräsentirt.

Fig. 10.



Schema des Chiasmas, der optischen Bahnen und der optischen Projection im Gehirn eines Säugethiers mit halbpanoramischem Sehen.

c, gekreuztes optisches Bündel; *d*, homolaterales optisches Bündel; *G*, primäre optische Centren; *Rv*, Sehsphäre der Rinde mit der geistigen Projection des Objects.

Eine Frage erhebt sich bei der Beobachtung der Differenz der Ausdehnung der centralen und peripheren Retinae. Warum ist die Region des geistigen Sehens ausgedehnter als die Fläche des der Projection entsprechenden Retina?

Schon in einer anderen Arbeit haben wir von dieser eigenthümlichen Einrichtung gesprochen, die von der von uns sogenannten Stromschwellung oder von der fortschreitenden Diffusion abhängt, die bei der Uebertragung der optischen Erregung vom Auge auf das Gehirn stattfindet. Sicher erklärt diese progressive Vermehrung der Zellen und Leitungen jene Thatsache zur Genüge und würde sie noch besser erklären wenn alle Nervenfasern, sowohl in den primären wie in den secundären optischen Centren, in einer einzigen Ebene endeten; in Wirklichkeit jedoch stammen diese Endigungen aus verschiedenen Schichten der grauen Substanz der genannten Centren, und müssen durch die ganze Dichte derselben vertheilte Zellen daran Theil nehmen. Dies erklärt jene Reduction des Volums des vorderen Vierhügels und des Corpus geniculatum externum im Vergleich zu den Flächen der Retinae; doch wird diese Reduction begleitet von einer positiven Vermehrung der Leitungen, von denen jede sich mit einer bedeutenden Gruppe von Pyramidenzellen verbindet.

Denkt man über den Vortheil dieser im Verlauf des sensorischen Reizes wachsenden Zahl der Leitungen nach, so kann man ihn nur in der Nothwendigkeit suchen, die Associationen zu erleichtern, und vielleicht auch in dem Zweck, mit der Betheiligung vieler Neurone die Intensität des centripetalen Stroms zu steigern.

Die Stromschwellung und die sich hinzugesellende wachsende Vielfältigkeit der Verbindungen vermag vielleicht zum besseren Verständniss eines noch wenig aufgeklärten Phänomens beizutragen: nämlich der Eigenthümlichkeit des Gehirns, beim stereoskopischen Sehen Bilder, die etwas ungleich sind und von identischen Punkten der Netzhäute kommen, zu verschmelzen.

Man wird sich erinnern, dass die landläufige Lehre von den identischen Punkten, die man auf Grund des binoculären und stereoskopischen Sehens ersonnen, nicht ganz befriedigt. Auch haben die Autoren sie bereits zu modificiren versucht, indem sie an Stelle des ursprünglichen identischen Punktes der beiden Netzhäute die übereinstimmenden Kreise (Panum) oder die correspondirenden Zonen (Wundt) setzten, mit welchen Bezeichnungen man zu verstehen giebt, dass, damit das Gehirn zwei Blider zu einem verschmelze, es nicht absolut noth-

wendig ist, dass die Bilder der gleichen Punkte des Objects sich genau auf dasselbe Stäbchen oder denselben Zapfen der beiden Retinae projiciren, sondern auf eine mehr oder weniger ausgedehnte Fläche, deren Ueberschreitung jede Synthese unmöglich macht. Vermöge der wohl befestigten Thatsache der Stromschwellung wird der von einem oder mehreren Zapfen aufgenommene elementare Eindruck die Thätigkeit einer speciellen Plejade oder eines functionellen Systems von Pyramidenzellen der Sehsphäre des Gehirns (isodynamische Gruppen) wachrufen; aber da die Endverzweigung der die Erregungen benachbarter Zapfen leitenden optischen Fasern sich zum Theil auch mit der erwähnten isodynamischen Gruppe von Pyramiden verbinden wird, so wird daraus folgen, dass diese zur selben Zeit zwei optische Erregungen empfangen wird: eine hauptsächlichere, von dem Zapfen oder den Zapfen herrührend, deren Repräsentant sie ist, und eine accessorische, weniger energische, von dem benachbarten Zapfen kommend. Auf diese Weise werden die von benachbarten, wenn auch nicht identischen Punkten der beiden Netzhäute kommenden Wellen sich zu einer Resultirenden verschmelzen und wird eine einheitliche Empfindung zu Stande kommen.

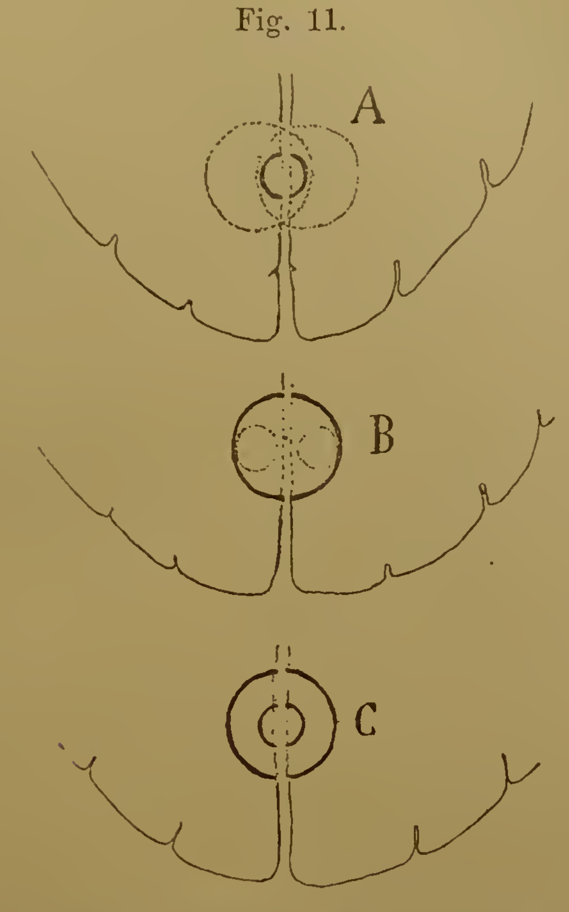
In den beigegebenen Schemata haben wir vorausgesetzt, dass die Verschmelzung der beiden Bilder sich im Gehirn vollzieht. Jedoch, könnte dies nicht auch in den primären optischen Centren der Fall sein? Eine Frage, die sich aus Mangel an Thatsachen nicht beantworten lässt. Berücksichtigt man aber, dass die Verschmelzung in den Lobulis opticis eine schon bei den niederen Vertebraten geschaffene fundamentale Einrichtung rectificiren würde, nämlich die Endigung der Fasern jeder Retina in einem einzigen Lobulus opticus, so halten wir es für wahrscheinlich, dass die Synthese im Gehirn vor sich geht, d. h. in der letzten optischen Station, welche auch vom phylogenetischen Standpunkt die jüngste ist. Dabei bleiben die Bahnen und Anordnungen des Lobulus opticus aufrecht erhalten und respectirt, welche, weil sie motorischen Reflexen von hohem Alter und von einer für alle Vertebraten giltigen Nothwendigkeit entsprechen, es schwer halten würde zu beseitigen.

Geistige Projection beim stereoskopischen Bilde. — Wenn wir auch in der vorliegenden Arbeit das Problem der Perception des Reliefs nur im Vorübergehen und ohne die wünschenswerthe Detaillirung be-

handeln können, so wollen wir dennoch betreffs desselben auf einige Punkte hinweisen, welche mit der von uns aufgestellten Lehre in Zusammenhang stehen.

Nach unserer Ansicht entspringt die Empfindung der dritten Dimen-

Fig. 11.



Schemata zur Demonstration der Gestalt des geistigen Bildes eines Körpers (abgestumpfter Kegel, von der Spitze aus gesehen), in zwei aufeinanderfolgenden Momenten der Convergenz. Die dunklen Linien stellen die Fläche des convergirten und in ein einziges geistiges Bild zusammengesetzten Objects dar; die punctirten bezeichnen die nicht convergirten und daher doppelt projicirten Flächen.

A, geistiges Bild während der Convergenz und Akkommodation des Scheitels des Kegels; *B*, dasselbe während der Convergenz und Akkommodation der Basis; *C*, Synthese bei Persistenz von Bildern beider convergirter Flächen des Objects.

sion einem sehr einfachen Phänomen, nämlich der cerebralen Persistenz verschiedener verwandter Convergenzzustände, und, demzufolge, einer Serie successiver Projectionen in verschiedenen Ebenen des Raumes. Das Gehirn sieht in einem Moment verschiedene Ebenen des Objects, weil es, innerhalb einer gegebenen Zeit, sie als actuell und räumlich auffasst.

Um die Richtigkeit dieser Auffassung zu prüfen, beobachte man, was vor sich geht, wenn wir einen Gegenstand mit beiden Augen betrachten. Wenn wir schnelle Convergenzbewegungen machen und dadurch binoculär in den Raum projiciren (man erinnere sich an die Projectionstheorie von Helmholtz), so erscheint die Empfindung des Reliefs; wenn wir jedoch die Convergenz und die Projection an einer einzigen Ebene fest haften lassen, so hört die Perception der dritten Dimension auf; schliesslich, wenn diese Convergenzbewegungen in sehr grossen Pausen auftreten, verschwindet das Relief fast ganz. Mit anderen Worten, die Empfindung der Tiefe ist um so vollkommener, je schneller der Uebergang der Convergenz und Projection von der einen Ebene zur anderen ist.

Was ereignet sich nun im Gehirn bei jeder Convergenzbewegung? Eine einfache Zeichnung, in welcher die geistige Projection eines Körpers, z. B. eines an der Spitze abgestumpften Kegels, dargestellt wird, der abwechselnd mit der Basis und dem Scheitel in den Focus und unter Convergenz gebracht wird, zeigt uns ohne Weiteres, dass, wenn die Convergenz sich auf den Scheitel richtet, ein kreisförmiges Bild in der Maculagegend beider Gehirne, nahe der Mittellinie, entsteht, und dass, wenn sie sich auf die Basis richtet, eine andere concentrische, jedoch ausgedehntere Serie von Pyramiden der erwähnten Macularegion die Projection des entsprechenden Kreises aufnehmen wird (Fig. 11, A, B). Es ist klar, dass, wie die Physiker und Physiologen für das Netzhautbild nachgewiesen haben, die nicht convergirten Punkte des Objects sich doppelt aufzeichnen werden, weil sie nicht identische Stellen einnehmen, noch demzufolge beide Bündel, das direkte und gekreuzte, beanspruchen; und so wird bei der Verschmelzung des Doppelbildes des Scheitels im Gehirn, die Basis sich doppelt darstellen (Fig. 11, A) und umgekehrt (Fig. 11, B); indess hat diese Erscheinung keine Bedeutung, weil das Gehirn das doppelte Bild, das sich überdies ausserhalb des Focus befindet, vernachlässigt und sich nur dem synthetischen und unter Convergenz befindlichen, zugleich auch intensiveren zuwendet.

In Folge des rapiden Uebergangs der Convergenz von einer Ebene zur anderen des Objects giebt es, als Reiz betrachtet, in Wirklichkeit zwei synthetische und detaillirte geistige Bilder: das der Basis, welches

der Effect der augenblicklichen Convergenz ist und sich in einen ausgedehnten Kreis von Pyramidenzellen projicirt; und das des Scheitels, welches aus der abgelaufenen Convergenz hervorgegangen war und sich in einem kleineren Cirkel von Pyramidenzellen abspiegelt. In einigen Gruppen der an den Bildern theilhabenden Pyramiden werden die beiden Eindrücke auf einmal statthaben; der erstere stärker, der abgelaufene schwächer, aber dennoch fortdauernd. Unter solchen Umständen nun werden alle diese, durch augenblickliche und nicht weit zurückgelegene Reize in Thätigkeit gesetzten Pyramidenzellen das, was in verschiedenen Momenten an sie herantritt, gleichzeitig in den Raum projiciren, und das Gehirn wird mindestens zwei Ebenen des Objects als in der Aussenwelt und in den Durchschnittspunkten der Sehlinien coexistirend betrachten.

Die von den Physikern so oft erwähnte Ungleichheit des rechten und linken Bildes scheint an und für sich zur Empfindung des Reliefs nichts beizutragen, höchstens durch die Convergenzbewegungen, die zur Beseitigung der Ungleichheit gemacht werden müssen, was durch die Zerlegung der Projection des Objects in eine Serie von successiv sich aufzeichnenden und in den identischen Punkten des Gehirns verschmelzenden Ebenen erreicht wird.

Man beobachtet, dass, welche Differenzen die Bilder beider Augen auch bieten mögen, dieselben verschwinden, sobald der Körper in mathematische Ebenen zerlegt wird; mit anderen Worten: die erwähnten Unterschiede sind wirkliche und markiren sich wohl in dem mit einem einzigen Blick betrachteten oder auf eine Fläche wie auf eine photographische Platte projicirten Bilde des Objectes, nicht jedoch in der Aufeinanderfolge analytischer Bilder, die durch die binoculäre Convergenz erzeugt und im Gehirn zusammengesetzt sind. Diese stufenförmige oder chronologische geistige Copie repräsentirt die Summe zahlreicher Punkte des Objects und bietet durch deren Vereinigung dem Gehirn den Anblick, welchen das Object gewähren würde, wenn es nur mit einem Auge, das zwischen beiden oder an der Nasenwurzel gelegen, betrachtet würde.

Im Grunde genommen ist der Mechanismus der Wahrnehmung des Reliefs bei dem binoculären Sehen eines Körpers derselbe wie beim Sehen eines ebenen Bildes (Zeichnung, Photographie, sehr entfernte

Gegenstände) mit dem einzigen Unterschied, dass bei letzterem nur einmal die Convergenz stattfindet, bei jenem vielmals. Deshalb lässt sich behaupten, dass das stereoskopische Sehen nichts weiter ist als die abwechselnde Wahrnehmung einer Serie ebener, nacheinander durch die Convergenz der Augäpfel in den Brennpunkt gerückter und zu isodynamischen Pyramidenzellengruppen der Hirnrinde geleiteter Bilder. In jedem Moment der Convergenz entwirft bekanntlich die Retina das Projectionsbild einer in den Brenn- und Convergenzpunkt gerückten Ebene in den Raum, eine Luftprojection, welche in dem Durchschnittspunkt der Sehlinien schwebt und in den Gehirnneuronen nach Art persistirender innerer Bewegung genügend lange andauert, um ein ganzes Defilé von Projectionen in unserem Bewusstsein als gleichzeitig erscheinen zu lassen. Dank der Persistenz der, verschiedenen, stufenförmigen Projectionen entsprechenden Bewusstseinszustände, construiren wir successiv in den Raum hinein das Gebäude der Objecte, ohne Zweifel ein ideelles Gebäude, das uns jedoch in allen seinen Theilen wirklich und gegenwärtig scheint.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dass weder die Perception der doppelten Bilder (in den nicht convergirten Ebenen) noch das Bewusstsein der zur Convergenz nothwendigen Muskelkraft, nach unserer Auffassung, eine für die Schätzung des Reliefs wichtige Rolle spielen; es dürften höchstens auxiliäre Phänomene sein, welche als unbewusste oder automatische Mechanismen den Grad der Tiefe, in welchem sich ein bestimmter Punkt des Objects befindet, beurtheilen helfen, jedoch erzeugen sie nicht die Empfindung des Reliefs. Dass die Thätigkeit der Convergenz von geringem Einfluss ist, lehrt das Phänomen des monoculären Sehens. Wenn wir ein Auge schliessen und mit dem anderen einen erhabenen Gegenstand betrachten, besteht das Muskelgefühl der Convergenz mehr oder weniger fort, trotzdem ist das Bewusstsein der dritten Dimension sehr unvollkommen oder fehlt gänzlich.

Wir wollen nicht leugnen, dass, wie Bourdon versichert, die Convergenz am monoculären Sehen etwas Theil hat, indem sie einen mehr weniger dunklen Eindruck des Reliefs hervorruft, besonders wenn wir schnell von der Accommodation und Convergenz der einen Ebene zu derjenigen der anderen übergehen und damit einen gleichen Vorgang wie beim binoculären Sehen nachahmen; jedoch ist diese Reliefempfindung

undeutlich, wahrscheinlich weil die Projection des Bildes im Raum nicht nach festen Punkten geschieht, mangels der Projection des anderen Auges. Denn wie bekannt, schätzt das Gehirn nur die durch den Schnittpunkt der verlängerten Linien der Zapfen beider Retinae gelegte Ebene als wirklich vorhanden und als im Raume wohl bestimmt.

Die Empfindung des Reliefs kann auch erfolgen mittelst Lichteindrücke, die in den Augen abwechseln, ein neuer Umstand, der die Wichtigkeit der Persistenz der Eindrücke für jene Empfindung beweist. Darnach braucht das Gehirn, um das doppelte Bild zusammenzusetzen und das Relief zu erzeugen, nicht zwei gleichzeitige optische Erregungen: dafür genügt es, dass sie successive sind, jedoch mit der Bedingung, dass die Intervalle nicht $^1/_7$ oder $^1/_8$ Secunde überschreiten. Unter solchen Verhältnissen ist es unzweifelhaft, dass die Synthese sich zwischen dem gegenwärtigen Bild des einen Auges und dem Residuum des vorhergehenden, von dem anderen Auge übermittelten, sich vollzieht.

Ein einfacher Apparat, bestehend in einer Drehscheibe, die mit einer excentrischen Oeffnung versehen ist und vor die Augen gestellt wird, in welche letztere nur abwechselnd das Licht fällt, dient dazu, diese Eigenschaft des Gehirns zu demonstriren. Auf diesem Experiment beruht ausserdem ein von mir zu dem Zweck erdachter Projectionsapparat, die Empfindung des Reliefs auf grosse Entfernungen zu produciren. Dieser Apparat, der mit Absicht aller Complicationen und Umständlichkeiten baar gelassen worden und nichts weiter als ein Ergebniss der physiologischen Optik ist, besteht im Wesentlichen aus zwei Projectionscameras, deren jede dazu bestimmt ist, auf demselben Punkte eines Lichtschirmes eine stereoskopische Photographie zu entwerfen. Als Folge dieser Projection verschmelzen zwei Bilder, das des rechten und das des linken Auges in ein einziges, sehr helles. Aus der Ferne und mit blossem Auge betrachtet, entbehrt die Projection des Reliefs; wenn wir jedoch von zwei Drehscheiben wie die oben beschriebene eine vor die beiden Projectionslampen, die andere ein wenig vor die Augen des Beobachters stellen, so erscheint das Relief, weil jedes Auge ausschliesslich sein Bild aufnimmt, d. h. das, welches es aufnehmen würde, wenn es mit dem Stereoskop eine doppelte Photographie betrachtete. Der Isochronismus der beiden Drehscheiben wird mittelst eines Electromotors herbeigeführt.

Bei der Durchsicht der Correcturbogen dieser Arbeit erfuhren wir, dass fast dieselbe Lösung des Problemskürzlich auch von A. Rateau (Compt. rend. de l'Acad. de Science, 11. Juli 1898) in der Absicht gegeben worden ist, den Bildern des Kinematographen die Eigenthümlichkeit des Reliefs zu verleihen. Auch Jul. Carpentier scheint einen ähnlichen Gedanken gehabt zu haben.

Das Problem lässt sich übrigens auch ohne Elektricität und Drehscheiben auf folgende Weise lösen: In einem eigens für diesen Zweck hergerichteten Saal wird ein sehr grosser cylindrischer Lichtschirm in Umdrehung gebracht; derselbe besitzt in der Höhe der Augen des Beobachters eine Serie von Löchern in solcher Entfernung von einander (12 cm), dass, wenn eines von ihnen dem linken Auge entspricht, das rechte sich gegenüber der dunklen Partie des Cylinders befindet. Auf der anderen Seite des Schirmes stehen 2 Laternen mit Bildern, jedes einem Auge entsprechend, welche abwechselnd auf einen vertical in dem Loch des cylindrischen Schirms befestigten Vorhang projicirt werden. Bei dieser Anordnung wird jedes Mal, wenn ein Loch vor den Augen des Beobachters vorbeigeht, der cylindrische Schirm auf der entgegengesetzten Seite das entsprechende Objectiv des Projectionsapparats öffnen.

Es existirt noch eine andere bloss theoretische und sehr schwer zu demonstrirende Lösung. Wir geben sie hier nur als wissenschaftliche Curiosität wieder. Sie beruht auf der Polarisation des Lichts. Auf 2 dunklen Gläsern, deren Polarisationsebenen sich im rechten Winkel schneiden, lässt man 2 stereoskopische Bilder sich reflectiren, welche auf durchscheinende und ganz in der Nähe jener Gläser angebrachte Lichtschirme projicirt sind; eines derselben wird horizontal sein, das andere vertical und von vorn nach hinten gerichtet. Die durch jedes Glas reflectirten Strahlen werden im rechten Winkel polarisirt heraustreten und nur durch das entsprechende Auge gesehen werden, das natürlich mit einem Nicol'schen Prisma bewaffnet ist, dessen Polarisationsebene derjenigen der polarisirenden Gläsern parallel ist.

ANPASSUNGEN DER ÜBRIGEN SENSORISCHEN UND MOTORISCHEN BAHNEN AN DIE KREUZUNG DER SEHNERVEN.

1. **Optische Reflexbahnen.** Bekanntlich gehen vom Lobulus opticus der niederen Wirbelthiere sowohl wie vom vorderen Vierhügel der Säugethiere absteigende Bahnen aus, dazu bestimmt, die Lichterregung auf die motorischen Centren des Bulbus und der Medulla spinalis zu übertragen. Diese Bahnen bilden zwei Züge, einen kleinen gleichseitigen und einen entgegengesetzten stärkeren. Letzterer kreuzt die Mittellinie, wie die Forschungen von Tartuferi, Bellonci, meinem Bruder, Held, mir, Kölliker etc. beweisen, und in dem Lobulus der entgegengesetzten Seite angekommen, wendet er sich zum grossen Theil abwärts, vorzugsweise das absteigende Bündel der Haube bildend. Es existiren in der That gekreuzte Fasern über dem Aquaeductus Sylvii und ebensolche unterhalb des hinteren Längsbündels.

Wir wollen hier diese optischen Reflexbahnen nicht im Detail erörtern; ihre motorischen Verbindungen sind noch in recht tiefes Dunkel gehüllt. Es liegt uns nur daran, zu zeigen, dass die allgemeine Anordnung dieser Bahnen mit der Theorie übereinstimmt. Da nämlich die fundamentale Kreuzung der Sehnerven und das Vorwiegen der, der Seite der Erregung entsprechenden Muskelreflexe eine gegebene Thatsache ist, so war zu erwarten, dass die optische Reflexbahn der entgegengesetzten Seite die homolaterale an Bedeutung übertreffen würde, und eben dies ist wirklich der Fall. Die Theorie verlangt auch, dass bei den Vertebraten mit panoramischem Sehen, bei welchen jedes Auge unabhängig functionirt (monolaterale Pupillenreaction, Mangel der Convergenz etc.), die gleichseitigen optischen Reflexfasern sehr spärlich seien und diese aus der Theorie gewonnene Deduction stimmt vollkommen mit den Thatsachen überein. Denn Edinger[24]), der diesen Punkt bei den Fischen, Reptilien und Batrachiern sehr genau studirt hat, beschreibt und zeichnet als gekreuzt die grosse Mehrzahl der absteigenden, im Lobulus opticus entspringenden Bündel (Tractus tecto-spinales und tecto-bulbares), nicht zu gedenken der dorsalen Kreuzung des Tectums, welche vielleicht den

absteigenden, in der ventralen Region dieses Organs nicht gekreuzten Fasern entsprechen könnte. Wir glauben trotzdem nicht, dass, selbst bei den niederen Wirbelthieren, die homolateralen Fasern ganz fehlen, da das Zusammenwirken gewisser Augenbewegungen (Erhebung und Niederrichten der Augen, Accommodation auf Entfernungen etc.) die bilaterale Contraction einiger Muskeln erfordern.

Willkürliche motorische Bahn. Bekanntlich kreuzt sich sowohl bei den niederen Säugethieren wie beim Menschen der bei weitem grössere Theil der Fasern der im Gehirn entspringenden Pyramidenbahn im Niveau des Bulbus, um auf der entgegengesetzten Seite der Medulla abwärts zu steigen und sich in den Seitenstrang (Mensch, Hund, Katze u. s. w.) oder in den Hinterstrang (Ratte, Maus etc.) zu begeben. Diese äusserst wichtige Einrichtung erklärt sich, wie wir bei verschiedenen Gelegenheiten betont haben, aus einer Anpassung an die Kreuzung der Sehnerven. In der That, von dem Moment an, wo das tubuläre Sehen sich in das Linsensehen verwandelte und demzufolge eine Kreuzung der optischen Bahnen stattfand, mussten sich die (vielleicht anfänglich ausschliesslich reflectorischen) im Gehirn entspringenden und für die Leitung der willkürlichen Bewegungen bestimmten Fasern ebenfalls kreuzen, um die motorische Reaction auf die Seite des Reizes leiten zu können. In Fig. 8 M reproduciren wir diese Anpassung mit Beziehung auf irgend ein Thier mit panoramischem Sehen. Der grösseren Einfachheit wegen lassen wir die motorische Bahn aus der Region des geistigen Sehens selbst hervorgehen, eine Anordnung, die sich sicherlich bei den Säugethieren unter dem Auftreten eines intermediären Gehirnneurons complicirt, vermöge dessen sich die äussersten Verzweigungen der optischen Bahnen mit den Pyramidenzellen der motorischen Rindenzone verbinden.

Beim Menschen und den höheren Säugethieren sind die homolateralen Fasern der Pyramidenbahn ebenfalls ziemlich zahlreich; doch nicht so zahlreich wie die gekreuzten, welche mindestens auf zwei Drittel oder noch mehr der Gesammtheit steigen. Diese verhältnissmässig erhebliche Vermehrung der homolateralen Fasern hat mit der Existenz des directen Opticusbündels nichts zu thun, sondern nur mit der höheren Beweglichkeit des Kopfes, Halses und der Extremitäten, deren coordinirte Be-

wegungen häufig bilaterale sind, wenn auch immer diejenigen der, der Lage des unsere Netzhaut treffenden Objects im Raume entsprechenden Seite überwiegen (conjugirte Bewegungen der Augen zur Einstellung des Objects in die Fovea, Richtung des Kopfes und des Armes, Griff nach demselben etc.).

Die obligate Kreuzung der Mehrzahl der Fasern der Pyramidenbahn hat, mittelst Anpassung, auch die Kreuzung der subalternen motorischen Brücken-Kleinhirn-Rückenmarksbahn zur Folge gehabt. In der That muss diese Bahn, welche mit den Collateralen des Pyramidenbündels vor der bulbären Kreuzung desselben, d. h. mitten in der Varolsbrücke, verbunden ist, sich ebenfalls zum grossen Theil kreuzen, damit die coordinatorische Thätigkeit der Bewegungen in denselben Muskeln, die von der gekreuzten Pyramidenbahn beherrscht werden, vor sich gehe. Es existirt jedoch auch eine direkte Brücken-Kleinhirn-Rückenmarksbahn (einige Fasern der Pedunculi cerebelli medii kreuzen sich nicht in der Brücke), welche vielleicht mitten im Kleinhirn (intracerebelläre Commissuren) noch verstärkt wird und deren Aufgabe, wie Lugaro sagt, sein dürfte, compensatorische Contractionen auf der anderen Seite jedes Mal dann zu erzeugen, wenn ein Lagewechsel das Gleichgewicht des Rumpfes und des Kopfes stört.

Sensorische Bahnen, acustische, sensible, olfactorische etc. Da der Organismus dem schon früher erwähnten Princip der concentrischen Symmetrie treu bleiben muss, nämlich dass jede seitliche Hälfte der Nervencentren die aus einer der verticalen Hälften der gesammten sensiblen Oberfläche gewonnene Projection symbolisch darstellt (einschliesslich der Sinnesorgane, die am Ende nichts weiter als cutane Differenzirungen sind), so vertheilten sich auch, sobald das mittlere, intermediäre und vordere Gehirn auftrat, sämmtliche sensiblen, sensorischen und motorischen Centren jeder Seite in der grauen Substanz eines Halbhirns. Und diese Anordnung wäre homolateral geblieben, in Uebereinstimmung mit den ökonomischen Absichten der Natur, wenn nicht die Vertauschung des tubulären Sehens mit dem Linsensehen, die bei den Cephalopoden stattfindet und sich bei den Wirbelthieren aufrecht erhält und vervollkommnet, die Kreuzung der optischen Bahnen absolut nothwendig gemacht hätte. Diese Kreuzung fand schon statt, bevor sich die Hirn-

rinde differenzirte, als der Endpunkt der Sehnerven ausschliesslich von den Lobuli optici und dem intermediären Gehirn gebildet wurde.

Da nun diese Kreuzung dem Aufbau des Gehirns voranging, so mussten bei der Entwicklung des letzteren die sensiblen, sensorischen und motorischen Centren, die sich nach und nach etablirten, sich der optischen Inversion anschliessen, und zwar um so mehr, als bei den niederen Wirbelthieren die optischen Empfindungen alle übrigen Sinneseindrücke überwiegen und fast ganz das geistige Leben des Thieres beherrschen. Den Anfang mit dieser Anpassung an die optische Kreuzung musste die motorische Bahn machen, schon in der Zeit, als sie aus dem intermediären oder Mittelhirn entsprosste; dann folgten die Bahn des Tastsinns, des Muskelsinns und vielleicht auch die acustische. Die nicht räumlichen Sinne, wie der Geschmack und Geruch, mussten indifferent bleiben, indem sie die doppelte, direkte und gekreuzte Bahn der fast ausschliesslich mit Rücksicht auf die Reflexe geschaffenen primitiven Centren der Medulla bewahrten.

Nach Formation der Hirnrinde und damit der höheren sensoriellen Centren behauptete sich jene Anpassung auch in den neu errichteten Bahnen; auf diese Weise nahmen sämmtliche motorische und sensorische Centren der rechten Körperhälfte ihren gemeinschaftlichen Sitz in dem linken Gehirn und umgekehrt. Dass die Kreuzung der Bahn für den Tastsinn und den Muskelsinn durch diejenige der Sehnerven bedingt wurde, dafür spricht die Unmöglichkeit, einen anderen plausiblen Erklärungsgrund dafür zu finden. In der That, bei keinem dieser Sinne hat in der phylogenetischen Reihe ein Wechsel des Sinnesmechanismus stattgefunden, der dem Ersatz des Facettenauges durch das Linsenauge gleich bedeutend wäre. Die Fühlsphäre hat sich von jedem Fortschritt in der Structur ferngehalten und ist den primitiven Anordnungen treu geblieben.

Die Natur hat, indem sie sämmtliche sensorischen und motorischen Centren der einen Körperhälfte in die entgegengesetzte Hirnhemisphäre verlegte, auch ökonomische Ziele verfolgt, d. h. die Vermeidung überflüssiger Bahnen bei den inter-sensoriellen und sensorisch-motorischen Leitungen. Indem sie so in einer und derselben Hemisphäre und in der Umgebung des motorischen Centrums dasjenige des Gefühls, Gehörs,

Geruchs und Gesichts gruppirte (der Tastsinn liegt in der motorischen Sphäre selbst), hat sie die Verbindung dieser Herde unter sich und mit der motorischen Rinde viel kürzer gestaltet, als es der Fall gewesen wäre, wenn, unter Verwerfung der so oft erwähnten örtlichen Anpassung, das dem rechten Raum entsprechende Sehcentrum im linken Gehirn sich befände und die anderen Sinnescentren ihren homolateralen Charakter bewahrt hätten.

Um diese ökonomischen Anpassungen verständlich zu machen, wollen wir in Kurzem die Form und die Lage einiger corticaler sensorischer Centren angeben.

a) Sphäre des Tast- und Muskelsinnes. Nach dem Gesetze von Flechsig steht die Ausdehnung der corticalen Projection eines Sinnes im Verhältniss zum Durchmesser des entsprechenden Nerven. Da nun die Summe der Querschnitte der sensiblen Haut-, Sehnen- und Muskelnerven eine sehr viel grössere ist, als diejenige aller übrigen Sinnesnerven, so ist es logisch, anzunehmen, dass das Rindenfeld des Tastsinnes ein viel grösseres Gebiet einfasst, als dasjenige des Gesichts oder Gehörs. Munk, welcher dem Studium der Form und Ausdehnung der corticalen sensiblen Projectionen beim Hunde und beim Affen grosse Sorgfalt gewidmet hat, localisirt sie in die aufsteigende Parietalwindung, in die aufsteigende Frontalwindung und die hintere Portion der Frontalwindungen, d. h., mit wenigen Unterschieden gerade in das Niveau derjenigen motorischen Centren, welche den dort repräsentirten Segmenten der Haut entsprechen. Diese sensiblen Projectionsflächen sind indess nicht aufs Gerathewohl, sondern mit einer gewissen Regelmässigkeit vertheilt; so folgen sich die Rindencentren der Schulter, des Ellbogen, der Handwurzel und der Finger in der Rinde in dieser selben Reihenfolge und von oben bis unten; dasselbe ist mit den Muskeln der Lenden, des Knies und der Zehen der Fall, deren Centren am Rande des Hemisphärenspalts liegen; da sich jedoch die Haut des ganzen Körpers bei seiner cylindrischen Gestalt und seinen Anhängen nicht auf eine Ebene projiciren lässt, in welcher die gegenseitige Lage der einzelnen Tegumentabschnitte gewahrt ist, hat sie die Natur in Bezirke eingetheilt, die möglichst nahe einander liegen, und so angeordnet, dass sie zwischen sich keine Lücke lassen. In diesem besonderen Falle ist der Organismus,

angesichts der Unmöglichkeit, die Gestalt der peripheren, sensiblen Oberfläche zu copiren, so verfahren wie der Schneider, der bei der Anfertigung eines Anzuges ebenfalls keine passenden cylindrischen Gewebsstücke zur Verfügung hat und die verschiedenen Abschnitte des Körpers auf ebene Flächen projiciren und reduciren muss, denen ebensoviele Stücke des Stoffes entsprechen. Dies ist der Grund, warum die centrale Retina des Tastsinnes nicht die Regelmässigkeit der optischen besitzt, ein Umstand andererseits, der für die Gestaltung der Projection im Raum indifferent ist; denn wie wir schon früher sagten, für die Bewahrung der Gestalt und Continuität des optischen Bildes kommt es nicht auf die Gestalt und Continuität der Oberfläche des centralen Sinnesorgans an, sondern auf die der peripheren receptiven Fläche, da wir niemals die Empfindung auf das Gehirn beziehen, sondern auf die Verlängerung der peripheren Enden der sensorischen Nervenfasern im Raum.

Wir wollen bemerken, dass die Natur auch bei der Projection der Sinnessphären auf die Rinde das sehr wichtige Princip der Einheit der Empfindung beobachtet hat. Jede Hemisphäre empfängt nur die sensiblen Bahnen, welche der Haut der entgegengesetzten Seite entsprechen, niemals diejenigen beider. Desshalb findet keine Verdoppelung von einen und denselben Hauptpunkt betreffenden Sinnesempfindungen statt.

Im Vorstehenden haben wir die Ursache der Kreuzung der Bahn des Tast-, Muskel- und Sehnensinnes angegeben. Im Folgenden wollen wir noch einige, die auseinandergesetzte Auffassung ergänzende und aufklärende Punkte mittheilen: 1. Nachdem die willkürliche motorische Bahn im Dienste der optischen gekreuzt ist, musste die sensible, deren Endigungen in der Rinde mit der motorischen so eng verknüpft ist, ebenfalls in die Kreuzung einbezogen werden, damit nicht die sensible-motorische Verbindung durch intermediäre Neurone erweitert und complicirt wurde. 2. Würde diese Decussation nicht stattgefunden haben, so würden die optischen und tactilen Bilder unter sich incongruent sein, z. B. ein Gegenstand, der sichtbar und fühlbar ist, würde ein optisches Bild geben, das in der Richtung desselben projicirt ist, und ein tactiles, das in die entgegengesetzte Seite des Raumes verlegt wird. 3. Wenn sämmtliche sensorische Centren von gleichem Vorzeichen auf derselben Seite des Gehirns gelegen sind, so sind die intersensoriellen Associa-

tionen viel leichter und gehen mittelst viel kürzerer Leitungen von statten.

b) Acustische Bahnen. In analytischer Beziehung weicht der acustische Apparat von dem optischen und tactilen erheblich ab. Tastsinn und Gesichtssinn sind bekanntlich räumliche Sinne, da sie uns, abgesehen von der Empfindungsqualität selbst (die Farbe, der Helligkeitsunterschied beim Auge, Schmerz-, Tast- und Wärmeempfindung in der Haut) die Lage des Reizes im Raume bekannt geben. Besonders das Auge erzeugt wirkliche Bilder der Körper mit Bezug auf den Raum (Gestalt und Tiefe der Objecte) und der Zeit (Länge der Aetherwelle). Hingegen giebt das Ohr nur zeitliche Beziehungen (Schallwellen) an und die vagen Angaben, die dieser Sinn betreffs der Richtung des Tones macht, beruhen vielleicht nicht auf der Thätigkeit der Schnecke, sondern derjenigen des Nervus vestibularis und seines Endapparats in den halbzirkelförmigen Canälen. Es fehlt denn auch, nach der Behauptung von Lechalas[25]), der Klangraum, was vielleicht davon abhängt, dass die Natur, zweifelsohne in Anbetracht dessen, dass den meisten Körpern ein Klang fehlt, die Construction eines acustischen, räumliche Bilder bietenden Apparats für überflüssig gehalten hat. Vielleicht befindet sich das Ohr auf dem Wege der Vervollkommnung, und vielleicht gelangt es mit der Zeit dazu, wie das Auge, einen Refractionsapparat zu erhalten, mittelst dessen ein Blinder der Zukunft Form und räumliche Lage der Geräusche und Klänge erzeugenden Objecte wird bestimmen können. Man erinnere sich, dass die Physiker wirkliche acustische Bilder mit Linsen von Kohlensäure hervorrufen.

(Die Autoren sind über den Mechanismus, vermöge dessen wir die Richtung des Schalles schätzen, nicht einig. Preyer[26]) und Lugaro[27]) behaupten, dass dieselbe uns durch die von den halbzirkelförmigen Kanälen aufgenommenen Erregungen vermittelt wird. Letztgenannter fügt hinzu, dass diese Kanäle einen acustischen Apparat bilden, der auf dem Wege des Reflexes die Bewegungen der Augen, des Kopfes und Rumpfes mit der Richtung des Schalles in Beziehung bringt. Solche Bewegungen sollen, indem sie der Schätzung im Bewusstsein unterliegen, indirekt die Vorstellung der Schallquelle hervorrufen. Eine gleiche Theorie ist auch von Brode[28]), wenn auch nicht in so bestimmter Form, aus-

gesprochen worden. Nach Luzzati[29]) soll diese Abschätzung nur auf dem Wege des Urtheils, nicht durch eine besondere Empfindung zu Stande kommen; der Kopf soll sich so lange bewegen bis das Maximum der Schallstärke empfunden wird, und aus der gewonnenen Richtung schliesst man auf die des Schalles.)

Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich, dass die Kreuzung der acustischen Bahnen mit einer auf die Gestalt der geistigen tönenden Projection gerichteten Function nichts zu thun hat, zumal, da jedes Ohr dieselben Verhältnisse (Länge und Intensität der Wellen) percipirt, welches auch ihr Ursprung sei, es für den Effect des geistigen Hörens gleichgültig ist, ob das acustische Bild eines Ohrs sich beiden Gehirnen einprägt oder ob es sich ausschliesslich in die homolaterale oder entgegengesetzte Hemisphäre projicirt.

Die Frage nach der Lage, Richtung und Endigung der acustischen Bahnen im Gehirn birgt noch viele dunkle Punkte. Es lässt sich nicht leugnen, dass auf diesem Gebiet die von der pathologischen Anatomie beim Menschen, von der physiologischen Forschung bei den Thieren zu Tage geförderten Thatsachen viel weniger überzeugend und übereinstimmend sind, als die über den Tast- und über den Gesichtssinn bekannten.

Bezüglich der unteren acustischen Bahnen lehren die Beobachtungen von Flechsig, Bechterew, Held, Kölliker, sowie meine eigenen und diejenigen vieler anderer, dass die Mehrzahl derselben sich im Bulbus in dem sogenannten Corpus trapezoides kreuzt (eine Kreuzung, die sich im Ganzen mit der des Chiasmas vergleichen lässt, zumal da dieselbe, wie in der optischen Bahn, im Bereich des zweiten Neurons stattfindet), und im hinteren Vierhügel endigt; hier entspringt eine homolaterale Bahn, die ohne weitere Kreuzung in der Sphenoidalgegend des Gehirns endet. Es dürfte indess auch ungekreuzte Fasern geben, die in erster Linie einem Theil der Striae acusticae entsprechen, und vielleicht sind diese Fasern zahlreicher als man glaubt, wenn man erwägt, dass, nach Kölliker, nicht wenige der Markscheiden des Corpus trapezoides sich in der oberen Olive ihrer Seite verlieren sollen, woselbst sie sich an die homolateralen verticalen Bahnen anschliessen könnten. Doch herrscht hierüber noch Ungewissheit; immerhin neigen wir selbst

auf Grund eines sorgfältigen Studiums des Corpus trapezoides bei der Ratte, der Maus, dem Kaninchen und der Katze zu der Annahme, dass mindestens die grosse Mehrzahl der acustischen Fasern sich bei diesen Thieren im Bulbus kreuzen.

Der corticale Sitz der Hörsphäre ist genau bekannt, dank den Untersuchungen von Munk, wonach jedes Ohr ganz in der entgegengesetzten Hemisphäre repräsentirt wird. Nach Munk sollen die tiefen Töne der hinteren Partie und die hohen der inneren und vorderen (Fissura Sylvii) der corticalen Hörregion entsprechen, Luciani und Seppilli hingegen, welche die Localisation der acustischen Empfindung in der Regio sphenoidalis bestätigen, erklären, dass jede Hemisphäre sich mit beiden Ohren in Verbindung setzt. Alt[30]) neigt ebenfalls zur Annahme einer gekreuzten Verbindung. Für Monakow wäre das rechte acustische Centrum für die musikalischen Laute bestimmt, das linke für die Analyse der Wortlaute. Im Allgemeinen nimmt man an, dass die Exstirpation einer corticalen Hörregion die Intensität des Hörens herabsetzt und die beiderseitige Abtragung derselben völlige Taubheit zur Folge hat. Interessant ist die Beobachtung der Wiederkehr des Gehörs nach theilweiser oder totaler (die vielleicht immer nur eine theilweise) Exstirpation der Hörrinde.

Mit wenigen Worten kann man sagen, dass, bei dem gegenwärtigen Stand unserer anatomisch-physiologischen Kenntnisse, die Hypothese von Munk betreffs der totalen Kreuzung der acustischen Bahnen, und damit der anderseitigen Verbindung jeder corticalen Hörsphäre die meiste Wahrscheinlichkeit für sich hat. Und von unserem Gesichtspunkt aus könnte man diese Kreuzung, wie die der sensiblen Bahn, als eine Folge der entwicklungsgeschichtlich voraufgegangenen Sehnervenkreuzung betrachten, wodurch jede Hemisphäre die ganze Projection der Sinnesorgane der entgegengesetzten Seite empfinge. Auf diese Weise könnten die Verbindungen zwischen der acustischen und der motorischen Sphäre, welche derselben Körperseite entsprechen, sehr kurze sein; so würde z. B., wenn Jemand zu uns von rechts spricht, durch diese enge Beziehung die rasche, bewusste, oft reflexmässige Bewegung des Kopfes nach der Richtung des Sprechenden erklärt.

Ungeachtet dieser Vortheile und obgleich wir glauben, dass die

Ergebnisse der pathologischen Anatomie, über die wir gegenwärtig verfügen, der erwähnten Auffassung weit günstiger sind, als irgend einer anderen, sind wir dennoch nicht in der Lage, eine Vermuthung zu verwerfen, die mit dem früher stabilirten Grundsatz der Einheit der Empfindung besser harmonirt.

Dieses Princip beherrscht den Aufbau der Nervencentren in dem Maasse, dass eine Erscheinung, die ihm widerspricht, nur mit ganz besonderer Vorsicht und wenn unwiderlegbare Beweise vorhanden, acceptirt werden darf. So sehen wir, dass die beiden Sehsphären nicht die Projection eines und desselben Punktes des doppelten Bildes empfangen, sondern dass die rechte optische Occipitalgegend den einen Objecten entspricht und die linke den anderen; dasselbe findet statt beim Tast-, Muskel- und Sehnensinn. Und obgleich man einwenden kann, dass das Gehör, weil es kein räumlicher Sinn, sondern nur ein Zähler von Bewegungen (Umwandlung von Wellenzahlen in verschiedene Empfindungen) ist, nicht nach dem Plane des Gesichts- und Tastsinnes gebaut zu sein braucht, welche uns räumliche Verhältnisse übermitteln, so erklärt dies nicht, warum die beiden, von demselben tönenden Punkte kommenden acustischen Ströme in eine einzige Empfindung verschmelzen. Beim Gesichtssinn ruft die Farbe, z. B. die rote, die von einem Punkte ausgeht, zwei Empfindungen hervor, wenn die Leitungswege beider Augen, durch künstliche Deviation der identischen Netzhautzonen, das monochromatische Bild dieses Punktes nicht zu derselben Gruppe isodynamischer Pyramidenzellen befördern können, sondern zu mehr oder weniger getrennten, in einer oder beiden Hemisphären liegenden Gruppen.

Daher wird, wenn wir die totale Kreuzung der acustischen Bahnen zugeben, die Folge sein, dass ein einzelner Ton, z. B. der einer Stimmgabel, beide corticalen Hemisphären erreicht und zwei bewusste Empfindungen hervorruft, da er zwei in je einer Hemisphäre gelegene Gruppen von Pyramidenzellen trifft. Dies wird sicher nicht eintreten, wenn jedes Ohr eine verschiedene Function, wenn das rechte nur die tiefen, das linke nur die hohen Töne aufzunehmen hätte; aber das elementarste Experiment lehrt, dass beide Ohren dieselben Töne aufnehmen, nur mit dem einzigen Unterschied, dass die Intensität derselben wegen der verschiedenen Entfernung der Ohren von dem tönenden Körper in beiden

Ohren verschieden gross sein wird. Alles dies würde dagegen eine befriedigende Erklärung finden, wenn die Natur hier zu einer ähnlichen Einrichtung ihre Zuflucht nähme, wie sie für die Verschmelzung der beiden Gesichtsempfindungen stattgefunden. Dank der Schaffung einer doppelten, direkten und gekreuzten acustischen Bahn, würde z. B. die linke Hemisphäre die die tiefen Töne beider Schnecken leitenden Nervenfasern aufnehmen, während die rechte sich mit den die hohen befördernden verbände. Würde eine Schnecke halb und halb in beide sphenoidalen acustischen Sphären projicirt, so würde bei der Wahrnehmung eines reinen Tones oder desjenigen einer Stimmgabel nur eine Seite des Gehirns in Action treten, während ein vollständiger Accord oder ein Orchester oder die menschliche Stimme beide centralen Hörsphären in Erregung versetzen würden. Uebrigens ist die eben erörterte Vermuthung nichts weiter als eine heuristische Hypothese, welche zur Führerin bei einigen physiologischen Forschungen dienen soll, denen wir vielleicht einmal näher treten können.

Wegen ihrer Widersprüche können die Resultate, zu welchen die Physiologen bei der einseitigen Abtragung der acustischen Sphäre gelangt sind, diese Hypothese weder stützen nach stürzen. Sie würden einen höheren Werth haben, wenn die Experimente mit grösserer Genauigkeit angestellt worden wären, als es in Wirklichkeit der Fall.

Unter Anderem sind die Physiologen immer von der Voraussetzung ausgegangen, dass beide acustische Hemisphären äquivalent sind. So wäre, wenn die Beobachter uns sagen, dass nach Exstirpation der Sphenoidalgegend des Gehirns beim Hunde das Thier weniger hörte, eine minutiöse Analyse der acustischen Empfindlichkeit wünschenswerth gewesen, um festzustellen, ob alle Töne gleichmässig abgeschwächt wahrgenommen werden, oder ob nur die tiefen bezw. die hohen. Abgesehen von der menschlichen Sprache und den zusammengesetzten hohen und tiefen Accorden, könnte das Experiment nur auf Grund des Gebrauches von verschieden hohen Stimmgabeln beweiskräftig sein. Ausserdem wäre es exact, das Thier, vor der experimentellen Abtragung einer acustischen Sphäre, an die Wiedererkennung einiger einfacher Töne zu gewöhnen und dieselben mit bestimmten Muskelbewegungen zu verbinden.

Geruchs- und Geschmacksbahnen. Da der Geruchs- und

Geschmackssinn, als primitive Sinnesorgane, nichts weiter als qualitative Empfindungen, aber nichts von der Gestalt oder Menge der gerochenen oder geschmeckten Objecte uns übermitteln, so wäre anzunehmen, dass bei diesen Sinnen keine totale Kreuzung existirt, sondern sich die primitive Disposition des Rückenmarks erhalten hat, in deren Reflexbahnen bekanntlich die homolaterale Leitung vorherrscht. Dies ist auch wirklich der Fall. In den Geruchsbahnen enden die dem Sehnerv entsprechenden Neurone (2. sensorisches Neuron), d. h. diejenigen, welche den Tractus oder die äussere Wurzel des Riechnervs bilden, zum grossen Theil gleichseitig in der sphenoidalen Region der Rinde, nach den Forschungen von Ganser, Golgi, mir, Calleja, Kölliker u. A.; es existirt indess ein sicherlich geringeres Contingent von Bahnen, welche, nach Kreuzung der Mittellinie in der Commissura anterior, im Lobulus limbicus der entgegengesetzten Seite aufhören.

In den Geschmacksbahnen wiederholt sich dieselbe Anordnung. Wie wir bei der Maus, der Katze und dem Kaninchen nachgewiesen haben, entspringen aus den Endcentren des Glossopharyngeus und Vagus im Bulbus zwei aufsteigende Bahnen, eine direkte und eine gekreuzte, deren Verlauf hirnwärts leider noch nicht genügend aufgeklärt ist.

Auch bei diesen Sinnen hat die Natur es verstanden, die Einheit der Empfindung zu wahren in der Weise, wie wir es früher beim Ohre auseinandergesetzt haben. Auch hier muss man sich vorstellen, dass die sozusagen tiefen Töne des Geschmacks und Geruchs, die von beiden Hälften der Zungen- und Riechschleimhaut aufgenommen werden, sich ausschliesslich in der einen Hemisphäre projiciren, die der höheren Scala in der anderen.

Ueberdies, welche Hypothese man auch bezüglich der Anordnung der Gehörs-, Geruchs- und Geschmacksbahnen wählt, die von uns aufgestellte Theorie über die Nervenkreuzungen erfährt dadurch keine Schmälerung, denn wenn wir uns vorstellen, dass bei diesen Sinnen die Kreuzung eine partielle ist, und beide Bahnen gleichwerthig sind, so erübrigt sich die Frage, warum es nicht überwiegend gekreuzte Bahnen giebt; es würde dies nur beweisen, dass die Natur es nicht für zweckmässig gehalten hat, hier den Constructionsplan des Rückenmarksreflexapparats zu ändern, der mit Rücksicht auf die schnelle Production bila-

teraler motorischer Reactionen geschaffen worden, eine Vertheilung von Reactionen, die sich andererseits mit dem nichträumlichen Charakter der Gehörs-, Geruchs- und Geschmackswahrnehmungen wohl verträgt, da ja hierbei nicht dasjenige Motiv im Spiele war, auf Grund dessen sich bei den anderen Sinnen die überwiegenden einseitigen centralen Bahnen bildeten, und das kein anderes war als der Vortheil, schnell und leicht einem von einer Seite des Raumes kommenden Impuls mit einer gleichnamigen Reaction zu entsprechen. Und wenn sich im Gegensatz hierzu beweisen liesse, dass z. B. in den acustischen Bahnen die gekreuzte Verbindung ausschliesslich obwaltet oder vorherscht, so würde dies beweisen, dass die Natur jeder anderen Anordnung die Anpassung an die optische Kreuzung vorgezogen hat, mit welcher der ökonomische Vortheil verknüpft ist, auf dieselbe Hemisphäre alle einer und derselben Seite des Raumes entsprechenden sensorischen und motorischen Centren zu verlegen (die Lage des acustischen Centrums der einen Seite am motorischen Centrum für die Bewegung des Kopfes oder für die Ausführung irgend einer Action in der Richtung des tönenden Objects). Bei dieser Voraussetzung wäre die Einheit der Empfindung zugunsten anderer Mechanismen vermieden worden, indem z. B. mittelst an jeder Faser der aufsteigenden Bahnen befindlicher Collateralen oder Bifurcationen, die mitten im Gehirn entspringen könnten, jede homogene Tonerregung mit gleicher Intensität beide Hälften einer und derselben, auf beide Gehirne vertheilten und mit denselben Associationen versehenen isodynamischen Gruppe von Pyramidenzellen zu erregen im Stande wäre.

Bedeutung des Corpus callosum und der Associationsfasern. Die Functionen des Balkens, so räthselhaft sie sind, lassen sich zum Gegenstand einer rationellen Hypothese machen, welche sich auf die neuesten Entdeckungen bezüglich der Topographie der sensorischen Centren und derjenigen der Vorstellungsthätigkeit stützt.

Bevor wir sie formuliren, ist es angebracht, an einige Thatsachen zu erinnern:

1. Wie wir selbst gefunden haben, repräsentirt das Corpus callosum keine Commissur zwischen zwei symmetrischen Regionen der beiden Hirnhälften, sondern eine sehr complicirte Verbindung jeder sensorischen oder motorischen Sphäre der einen Seite mit verschiedenen Zonen der anderen.

Infolge ihrer Verzweigungen kann eine Balkenfaser mit verschiedenen Windungen und sogar mit verschiedenen Lappen der entgegengesetzten Hemisphäre in Verbindung treten.

2. In Uebereinstimmung mit der jüngst von Flechsig veröffentlichten Lehre von der functionellen Dualität des Gehirns (Existenz von Associations- und von Projections- oder sensorisch-motorischen Centren), muss man annehmen, dass die Rinde, neben den sensorischen Sphären, andere mehr ausgedehnte hat, in denen die Residuen der Empfindung registrirt sind, Residuen, aus welchen, wenn sie wachgerufen und synthetisch verarbeitet werden, die Idee, die Vorstellung, die Erinnerung entspringt. In diesen Regionen findet auch die Verbindung von Ideen statt, sowie die primäre und secundäre Identification, von der uns die Philosophen berichten.

Zur Annahme dieser Associationscentren zwingen uns, abgesehen von den durch Flechsig entdeckten Thatsachen, folgende Gründe: die Persistenz von optischen Erinnerungsbildern bei den durch corticale Läsion Erblindeten; das Princip der Arbeitstheilung, welches verschiedene Organe für verschiedene Arbeiten fordert; der ausserordentliche Contrast zwischen der Empfindung und der Erinnerung (diese ist eine fragmentäre Synthese von fundamentaler charakteristischer Eigenart, gebildet aus sensorischen Residuen, die im Gehirn zu verschiedenen Epochen geschaffen wurden, jene eine genaue Photographie der Wirklichkeit, frei von Lücken und vollkommen in die Aussenwelt projicirbar); schliesslich, besonders die geringe Ausdehnung der sensorischen Sphären, im Vergleich zu der ausserordentlichen Zahl der optischen, acustischen und tactilen Vorstellungen, welche wir besitzen, und zu der beträchtlichen Fläche, welche jene noch unbestimmten, von Flechsig Associationscentren genannten Regionen des Gehirns einnehmen.

(Verschiedene Autoren haben übrigens nachgewiesen, dass die Parietal- und Sphenoidalgegend des Gehirns optische Vorstellungen beherbergen. So Gómez Ocaña[31]), der nach geschickter Abtragung eines Parietallappens beim Hunde beobachtete, dass das Thier in einen der totalen Blindheit ganz ähnlichen Zustand verfällt; es hat indess nicht das Sehvermögen verloren, sondern nur die Erinnerung an alle früher gesehenen Gegenstände und sein zerfahrenes Auftreten und seine Gleichgültigkeit gegen-

über jedem optischen Reiz muss dem Verlust der Erinnerung an die Bedeutung der Objecte zugeschrieben werden. Zufolge dieses Verlustes des ideographischen optischen Registers ist das Thier ausser Stande, die neuen Wahrnehmungen mit seinen Vorstellungen und Erinnerungen zu vergleichen. Von diesem Gesichtspunkte aus würde sich der seiner Parietallappen beraubte Hund in derselben Lage befinden wie ein Blindgeborener, dem ein beiderseitiger Staar operirt worden).

3. Die Centren des Vorstellens, welche die pathologisch-anatomischen Forschungen beim Menschen bis jetzt festgestellt haben, sind asymmetrische Herde, d. h. einseitige, und liegen gewöhnlich in der linken Hemisphäre, in der Nähe der entsprechenden sensorischen Sphären. Dies ist der Fall mit dem Centrum der motorischen Sprachvorstellungen, deren Läsion motorische Aphasie (Vernichtung des Centrums für die motorischen Vorstellungen des phonetischen Apparats) und Agraphie (Vernichtung des Centrums der motorischen Vorstellungen der geschriebenen Sprache) zur Folge hat; ebenso mit dem Centrum für die Symbole der gehörten Sprache (dessen Zerstörung Worttaubheit erzeugt) oder für diejenigen der gelesenen Sprache (deren Läsion Alexie oder Verlust des Verständnisses des Gelesenen bedingt). Daher halten wir es für sehr wahrscheinlich, dass die Centren des Vorstellens der einen Seite, auch wenn sie mit denen der anderen, in Bezug auf ihre allgemeine Function symmetrisch, doch nicht dieselben Erinnerungsbilder besitzen. Zum Beispiel dürften in dem linken Centrum des optischen Vorstellens bestimmte optische Bilder haften und andere im rechten, und dasselbe wird mit den übrigen Arten von Erinnerungen der Fall sein; auf diese Weise wird sich die, als Empfindung auf beide Gehirne vertheilte optische Projection polarisiren und zu einer einseitigen Erinnerung umwandeln, indem sie ihren projectiven und räumlichen Charakter einbüsst; mit anderen Worten, das Vorstellungsgehirn ist nicht, wie das sensorische, ausschliessliches Symbol der in einer Seite des Raums befindlichen Objecte, sondern es entspricht beiden Räumen, es repräsentirt den rechten wie den linken. Die Idee, dass die beiden Hemisphären eine verschiedene Bedeutung haben, ist kürzlich auch von Klippel[32]), wenn auch von einem anderen Gesichtspunkte aus, erörtert worden.

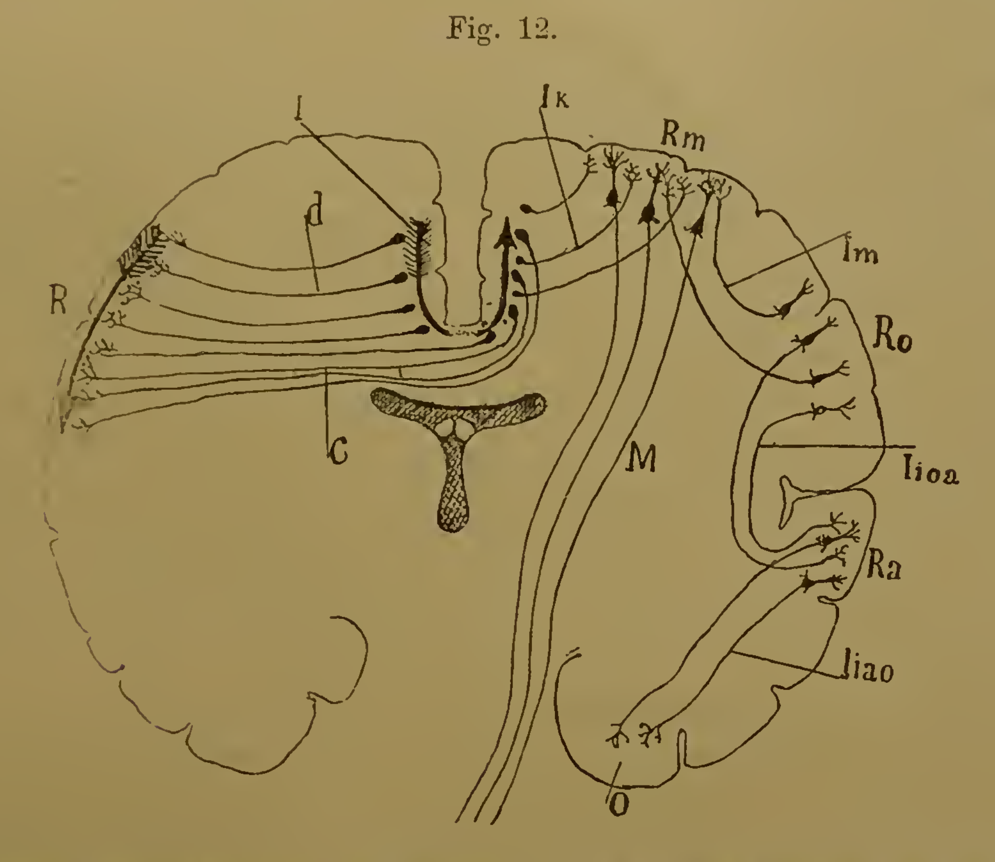
Aus den voraufgehenden Betrachtungen ergiebt sich nach meiner

Meinung die Bedeutung des Corpus callosum. In der That, da der Sitz der Empfindung bilateral und das Residuum derselben oder die Erinnerung monolateral, indifferent ist, so sind, damit in der Region des optischen Vorstellens einer Hemisphäre vollständige optische Bilder registrirt werden, zwei Arten von Associationsfasern notwendig; solche, welche die homolaterale Seite des Bildes im Vorstellungscentrum aufzeichnen (direkte Associationsfasern), und solche, welche die in die andere Hemisphäre projicirte Hälfte des Bildes mit jenem Centrum verbinden (gekreuzte oder Balkenassociationsfasern). Z. B. geht die ideelle Vorstellung eines Buchstaben, die im linken Gehirn localisirt ist, aus einer optischen Wahrnehmung hervor, die zu unendlich oft wiederholten Malen in beide corticale Sehsphären projicirt wird. In Fig. 12, d, c, in der wir diese beide Arten von Fasern demonstriren, glauben wir, die Bedeutung der Commissura callosa der Theorie entsprechend zu begründen. Dasselbe hat wahrscheinlich bei den übrigen Sinnessphären statt. Die Ansicht, dass jede occipitale Sehsphäre sich mittelst direkter und Balkenfasern mit den Vorstellungscentren (beim Hunde mit dem Lobulus parietalis) in Verbindung setzt, ist ausserdem schon von Gómez Ocaña ausgesprochen worden.

Diese Auffassung führt uns dazu drei, zwar in verschiedener Verbindung befindliche, jedoch anatomisch untrennbare Arten von Associationsfasern zu unterscheiden: 1. die Fasern, welche von den Sinnescentren zu den Vorstellungscentren ziehen, unter denen es direkte und gekreuzte giebt (man könnte sie iconoideale Associationsfasern nennen); 2. die Fasern, welche die einen Vorstellungscentren mit den anderen, sowohl derselben Seite, wie der entgegengesetzten, verbinden. Diese, das besondere Substrat der Ideenassociation und charakteristische Zeichen hervorragender Intelligenz und Einbildungskraft, dürften gleichermaassen directe und gekreuzte sein und interideale Associationsfasern heissen. Die an 3. Stelle anzunehmende Leitungsspecies möchten wir iconomotorische oder iconokinetische nennen; ihre Aufgabe wäre, die Sinnessphären mit den motorischen Pyramidenzellen zu verbinden, sowohl den in den Centren gelegenen (man erinnere sich, dass alle sensorischen Sphären Projectionsfasern enthalten), wie ausserhalb derselben oder in anderweitigen corticalen motorischen Herden befindlichen.

Aus der vorgetragenen Lehre wird ersichtlich, dass das ideelle Vorstellen ebenfalls dem Princip der functionellen Einheit des Gehirns, das wir früher mit dem Namen der Einheit der Empfindung bezeichnet haben, unterworfen ist. Jede einem Object entsprechende optische Vorstellung wird niemals in symmetrischen Regionen beider Hemisphären zugleich,

Fig. 12.



Schema zur Demonstration der verschiedenen Arten von Associationsfasern der Rinde und der Art, wie die Residuen der Empfindung sich in Erinnerung umwandeln.

I, geistiges Bild im Sehcentrum der Rinde; *R*, im entsprechenden Vorstellungscentrum aufbewahrte Erinnerung; *d* und *c*, direkte und gekreuzte Fasern, mittelst welcher das bilaterale sensorische Bild nach einer einseitigen Region der Rinde verlegt wird; *Rm*, motorische Region der Rinde; *Ro*, Sphäre der optischen Vorstellung; *Ra*, Sphäre der acustischen Vorstellung; *o*, corticale Riechsphäre; *Ik*, iconokinetische Associationsfasern, *Im*, ideokinetische, *Iioa*, interideelle oder acustisch-optische, *Iiao*, acustisch-olfactorische Associationsfasern.

sondern nur in der Vorstellungssphäre der einen Seite wachgerufen. Auf diese Weise ist die Duplicität der Bewusstseinszustände vermieden worden und wird die Capacität des Gehirns gesteigert, die eine ziemlich beschränkte wäre, wenn jede Idee zwei symmetrische Gebiete der beiden Hemisphären zum Substrat hätte.

Damit wollen wir schliessen.

Manche Frage bleibt dabei ungelöst und der vagen Vermuthung überlassen. So z. B. diejenige nach dem Mechanismus, vermöge dessen gewisse optische Vorstellungen sich in der einen Hemisphäre ansammeln, andere in der anderen. Nicht weniger wichtig wäre es zu erfahren, warum im linken Gehirn sich ausschliesslich alle Wortvorstellungen registriren*).

---

*) Anm. des Uebersetzers: Diese Frage ist der anderen untergeordnet: warum schreiben wir mit der rechten Hand? Ich glaube, dass bei dem Kinde bis zu dem Zeitpunkt, wo es schreiben lernt, die Wortvorstellungen an keine bestimmte Hemisphäre gebunden sind oder nicht eine bestimmte Hemisphäre als Wohnsitz bevorzugen. Unser sprachlicher Ausdruck und damit auch das Denken wird erst geordnet, wenn wir in die Schule gehen und schreiben lernen. Es entspricht also ganz der Cajal'schen Lehre vom Aufbau der Nervencentren und -bahnen, dem Gesetze der Ersparung von Raum und Zeit, wenn das Sprechcentrum sich neben dem Centrum für die Bewegungsvorstellungen der rechten Hand etablirt. Dazu kommt, dass wir vorwiegend mit der einen, der rechten Hand, fühlen und greifen; kein Wunder, dass wir vorwiegend mit der linken Hemisphäre begreifen. Dass wir aber mit einer Hand schreiben, ist eine direkte Folge der Technik des Schreibens selbst, die nur ein Glied erforderlich macht, und diese wiederum der menschlichen Intelligenz, die sie ersonnen. Es bleibt also nur die Frage zu beantworten, warum wir Rechtshänder sind. Der vielumstrittenen Frage nach der Ursache der Rechtshändigkeit des Menschen hat neuerdings Brinton auf dem Wege anthropologischer Forschung beizukommen versucht. Er findet, dass, während es unter den Culturmenschen der Jetztzeit nur ca. 2—4 % Linkshändige giebt, manche archäologische und linguistische Thatsachen darauf hinweisen, dass dieses Verhältniss in früheren Zeiten ein anderes gewesen ist. Er untersuchte daraufhin mehrere hundert amerikanische Steingeräte im Museum der Pennsylvania-Universität in Philadelphia und constatirte an den Asymmetrien, der Ausführung der einen oder anderen Seite und an der spiraligen Drehung der Flächen, dass bei den Verfertigern der betreffenden Geräthe das Verhältniss der Rechtshänder zu den Linkshändern wie 3 : 1 war. Dies würde ganz zu meiner Behauptung passen. Brinton sieht die Ursache der Rechtshändigkeit in dem aufrechten Gang des Menschen und dem kürzeren Wege des Blutes zum Gehirn auf der linken Seite, welch letzterer Umstand ja auch früher schon geltend gemacht worden ist. (Daniel G. Brinton: Lest-handedness in North-American aboriginal art. The American Anthropologist, 1896, May. Ref. in Buschan's Centralblatt f. Anthropologie etc. 1896, S. 301). — Brinton hätte bei dieser Gelegenheit diese alte anatomische Fabel leicht widerlegen können. Nicht in der Rechtshändigkeit, sondern in der Einhändigkeit liegt der Schwerpunkt. Zu Einhändern hat uns die fortschreitende geistige Entwicklung gemacht, die Cultur

Wir wollen nicht unterlassen, eine hypothetische Erklärung dieser corticalen Polarisationen aufzustellen, nicht um damit eine blosse Conjectur zu geben, sondern um die Möglichkeit zu zeigen, dass sich das Problem auf anatomische Begriffe zurückführen lässt. Man könnte sich die Structur der Sehsphären folgendermaassen angeordnet denken. Jede isodynamische Gruppe von optischen Pyramidenzellen (entsprechend den identischen Punkten der beiden Netzhäute) oder von acustischen Pyramidenzellen (entsprechend einem und demselben einfachen Tone) könnte zweierlei Elemente besitzen: nämlich Zellen, deren Axencylinder mit dem Corpus callosum nach der entgegengesetzten Hemisphäre zieht, und solche, deren Axencylinder sich in der sensorischen Sphäre derselben Seite verzweigt. Ferner dürfte diese Zellgruppe von der Peripherie her ein Bündel sensorischer Fasern empfangen, jedoch in der Anordnung, dass jede Zelle, ohne auf die Verbindungen mit sämmtlichen centripetalen, für diese Gruppe bestimmten Leitungen zu verzichten, für sich besonders mit einer speciellen Leitung in Contact träte. Nun könnte, bei der Projection des geistigen Bildes ins Gehirn, jede in den erwähnten isodynamischen Gruppen befindliche Zelle bei einem peripherischen Reiz zweierlei Erregungszustände erfahren, einen maximalen und einem minimalen. Wenn die maximale Erregung mit den Gruppenzellen mit gleichseitiger Verbindung zusammentrifft, so wird das ganze Bild in der Hemisphäre der gleichen Seite registrirt; wenn jedoch diese maximale Erregung die Zellen der isodynamischen Gruppen trifft, deren Axencylinder die Mittellinie kreuzt, so wird die Vorstellung sich der entgegengesetzten Hemisphäre einprägen. Auf diese Weise würde sich die Blässe der Vorstellung erklären, im Vergleich zu der Lebhaftigkeit und Energie der Empfindung; verständlich würde dann auch der fragmentäre und synthetische Charakter der Erinnerung, die ein lückenhafter und vereinfachter Wiederschein des direkten sensorischen Bildes ist. Schliess-

---

und die in ihrem Gefolge befindlichen Beschäftigungs- und Erwerbsarten. Dass wir nun gerade rechtshändig sind, kommt in zweiter Reihe in Betracht und mag vielleicht einen anatomischen Hintergrund haben, aber ich glaube, dass wenn dieselben unbekannten Ursachen, die uns speciell zu Rechtshändern machten, aus irgend einem Anlass statt dessen die Linkshändigkeit bewirkt hätten, das Verhalten der zum Gehirn führenden Gefässe daran nichts geändert haben würde.

lich könnte selbst das Vorwiegen der Polarisation der Erinnerungen, der acustischen wie optischen, in der linken Hemisphäre das Resultat des Vorherrschens der Pyramiden, deren Axencylinder in dieser Hirnhälfte endet, sein.

Wir wollen nun recapituliren:

1. Das Ueberwiegen der gekreuzten Nervenbahn beobachtet man nur in den centralen sensorischen, sensiblen und motorischen Bahnen bezw. in den für das Gehirn bestimmten; bei den einfachen Reflexen (Medulla und Medulla oblongata) walten im Allgemeinen homolaterale Leitungen ob.

2. Die ausschliessliche oder vorwiegende Kreuzung begann in der Thierreihe mit den centralen optischen Bahnen und entsprang aus der Nothwendigkeit, die centralen optischen Projectionen der Linsenaugen continuirlich und congruent zu gestalten.

3. Diese optische Kreuzung hatte, auf dem Wege ökonomischer Anpassungen, diejenige der motorischen Bahn zur Folge, derjenigen des Grosshirns wie der des Kleinhirns, zwecks Ausgleichs jener Kreuzung, um solche motorische Reactionen und Abwehrbewegungen zu ermöglichen, welche der Seite des peripheren Reizes entsprechen.

4. Eine entsprechende Anpassung hatte auch in den Bahnen des Tast- und Muskelsinns und vielleicht des Gehörs statt.

5. Bei den nicht räumlichen Sinnen, wie dem Geschmack und Geruch, erhielt sich die primitive Disposition, d. h. die bilaterale Verknüpfung, unter Vorwiegen der homolateralen Bahnen.

6. Die Anlage des direkten optischen Bündels, die wegen des gemeinsamen Sehfeldes erfolgte, und die Nothwendigkeit der Reliefempfindung bei den höheren Säugethieren (Mensch, Affe, Hund, Katze u. s. w.) änderten die schon bestehenden Kreuzungen nicht, denn das Nützlichkeitsprincip, auf Grund dessen sie entstanden, dauerte fort; sowohl beim Menschen wie bei den Thieren mit panoramischem Sehen prägen sich die rechten Objecte im linken Gehirn und umgekehrt ein.

7. Bei dem Aufbau des sensorischen und motorischen Gehirns scheinen folgende Grundsätze geltend gewesen zu sein.

a) Die Einheit der Funktion, d. h. dass jeder Theil der

Rinde ausschliesslich einem Punkte im Raume entspricht und niemals zweien.

b) Die concentrische Symmetrie, d. h. dass jede Hemisphäre das Symbol einer verticalen und lateralen Hälfte der empfindenden Haut-Oberfläche darstellt, einschliesslich der Sinnesorgane und der sensiblen Apparate der Eingeweide und der Muskeln; so repräsentirt, vermöge der Kreuzung der sensorischen Hauptbahnen, das rechte Gehirn die linke Hautoberfläche und den linken Raum und umgekehrt.

c) Die sensorischen und motorischen Sphären der Hirnrinde sind symmetrisch, aber die Vorstellungssphären oder Associationscentren Flechsig's im dynamischen Sinne asymmetrisch.

d) In Folge dieser Asymmetrie und der Nothwendigkeit, mit einem einseitigen Vorstellungsheerd das doppelte Rindenfeld jeder specifischen Empfindung in Verbindung zu setzen, mussten interhemisphärische Commissurenfasern angelegt werden, wie das Corpus callosum und die Commissura anterior. Deshalb besitzen die Thiere ohne cerebrale Vorstellungscentren entweder gar kein Corpus callosum oder nur ein rudimentäres. Daraus ergiebt sich auch, dass die Grösse dieser interhemisphärischen Commissur mit gewissen Einschränkungen als Maassstab des Vorstellungsvermögens eines Thieres gelten kann.

e) Es ist höchst wahrscheinlich, dass die weisse Substanz beider Hemisphären vier Arten von Associationsfasern enthält: iconokinetische, welche die sensorischen Sphären mit den motorischen verbinden; ideokinetische, welche die sensorischen Sphären mit den motorischen Centren der Pyramidenbahn verbinden; iconoideale, direkte und gekreuzte, welche beide Hälften jeder sensorischen Sphäre mit den entsprechenden Vorstellungscentren verbinden; interideelle, welche unter sich sämmtliche Vorstellungscentren verknüpfen. Diese letzteren sind ohne Zweifel der gewöhnliche Weg der Ideenassociation, des Urtheilens und Schliessens, überhaupt der höheren geistigen Thätigkeit. —

(Natürlich existiren alle diese Fasern nur in unserer Vermuthung; es wäre überflüssig zu bemerken, dass die erwähnten Verbindungen zwischen den Centren auch noch auf andere Weise vor sich gehen können; so dürften statt direkter Axencylinder viele jener Fasern

Nervencollateralen sein. In gleicher Weise lässt sich denken, dass einige dieser Associationen, besonders die zwischen den benachbarten Centren bestehenden, nicht mittelst Fasern der weissen Substanz, sondern solcher der Molecularschicht vor sich gehen, z. B. mittelst Fasern oder Axencylinder, die vielleicht aus den Martinotti'schen Zellen oder den spindelförmigen Zellen dieser Zone entspringen.)

8. Aller Wahrscheinlichkeit nach bilden die Sinnescentren feste, unveränderliche Mechanismen, der Vervollkommnung wenig oder gar nicht fähig und in structureller Beziehung bei allen Säugethieren gleich, während, im Gegensatz hierzu, die Associationscentren plastische Mechanismen darstellen, die sich leicht den Ansprüchen der geistigen Arbeit anpassen und nicht bloss bei dem einzelnen Individuum vervollkommnen, sondern auch in ihren örtlichen Verhältnissen innerhalb der Rinde selbst variiren lassen. Das Associationscentrum dürfte während der ersten Lebensjahre eine gewisse relative Indifferenz von Verbindungen aufweisen, vermöge deren es leicht die Art seiner Vorstellungen wechseln kann, eine Idee, die mit den Beobachtungen von Brissaud[33]) übereinstimmt, welcher die Wortcentren der Rinde als Resultat von secundären Anpassungen betrachtet, und mit denen von Marie[34]), welcher diese Abwesenheit einer Präformation für das Schriftcentrum behauptet, welches aus der Differenzirung eines Theiles der Seh- und der motorischen Sphäre hervorgehen soll.



Literaturverzeichniss.

[1]) v. Gudden: Ueber die Kreuzung der Nervenfasern im Chiasma nervorum opticorum. Arch. f. Ophthalmologie. Bd. XXV.

[2]) Gauser: Vergleichend anat. Studien über das Gehirn des Maulwurfs. Morph. Jahrbüch. 1882.

[3]) Tartuferi: Studio comparativo del tratto ottico etc. Torino 1881.

[4]) Singer und Münzer: Beiträge zur Kenntniss der Sehnervenkreuzung. Wien. 1888.

[5]) Henschen: Klinische und anatomische Beiträge zur Pathologie des Gehirns. Bd. I, II, III. Upsala. 1890, 1892 und 1893.

[6]) Monakow: Gehirnpathologie. Wien, 1897. — Ferner: Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen über die optischen Centren und Bahnen. Arch. f. Psych. Bd. XXI.

[7]) Michel: Lehrbuch der Augenheilkunde. 2. Aufl. 1890. — Ferner: Arch. für Ophthalm. Bd. XXX, Abtheil. II, 1873.

[8]) Kölliker: Handbuch der Gewebelehre des Menschen. 1896. Bd. II, pag. 563 u. folgend.

[9]) S. Ramón Cajal: Algunas contribuciones al conocimiento de los ganglios del encéfalo. — VII. Terminación central del nervio óptico. Anales de la Sociedad española de Historia natural. 2. Serie. Tomo III, 1894.

[10]) Bechterew: Die partielle Kreuzung des Sehnerven in dem Chiasma höherer Säugethiere. Neurol. Centralbl. Nr. 5, 1898.

[11]) A. Cramer: Beitrag zur Kenntniss der Opticuskreuzung im Chiasma und des Verhaltens der optischen Centren bei einseitiger Bulbusatrophie. Anatom. Hefte, herausgegeben von Fr. Merkel und R. Bonnet. Wiesbaden, 1898.

[12]) R. Wiedersheim: Grundriss der vergleichenden Anatomie der Wirbelthiere. 4. Aufl. Jena, 1898.

[13]) S. Ramón Cajal: El azul de metileno en los centros nerviosos. Revista trimestral micrográfica. Tomo I, 1896.

[14]) Pagano: Sulle vie associative periferiche del nervo optico. Rev. di pathol. nerv. e mentale. Vol. II, fasc. 2, 1897.

[15]) Hellendal: Ein Beitrag zur Frage der Kreuzung der Sehnerven. Arch. f. Anat. u. Physiol. Abtheil. Heft V, und XI, 1897.

[16]) Dexler: Untersuchungen über den Faserverlauf im Chiasma des Pferdes etc. Arbeiten aus Prof. Obersteiners Laboratorium. Wien, 1897.

[17]) Bourdon: Les resultats des travaux recents sur la percieption de la profondeur. L'Annéo psychologique, 4e Anné. Paris, 1898.

[18]) Munk: Sehsphäre und Augenbewegungen. Sitzungsberichte der Königl. preuss. Akad. der Wissensch. zu Berlin, 1890. — Ferner: Sehsphäre und Raumvorstellungen. 1891.

[19]) Steiner: Sinnessphären und Bewegungen. Pflüger's Archiv f. Physiol. Berlin, 1891.

[20]) Monakow: Exper. u. pathol.-anatom. Untersuchungen über die optischen Centren und Bahnen nebst klinischen Beiträgen zur corticalen Hemianopsie u. Alexie. Arch. f. Psych. Bd. 24. 1892.

[21]) Henschen: Klinische und anatomische Beiträge zur Pathologie des Gehirns. Upsala. Bd. I, II u. III, 1894. — Ferner: Sur les centres optiques cerebraux Congrès internat. de Rome. 2. April 1894.

[22]) Sachs: Das Hemisphärenmark des menschlichen Grosshirns. I. Der Hinterhauptslappen. Leipzig, 1892.

[23]) Gillet et Vialet: Les centres cerebraux de la vision et l'appareil nerveux visuel intracérébral. Paris, 1893.

[24]) Edinger: Vorlesungen über den Bau der nervösen Centralorgane des Menschen und der Thiere. 5. Aufl. 1896. pag. 108 u. folg.

[25]) Lechalas: L'absence d'espace sonore. Rev. de metaphys. et de moral. Septembre 1895.

[26]) Preyer: Arch. für die gesammt. Physiolog. Bd. XL, 1887.

[27]) Lugaro: Sulle funzioni dei canali semicircolari. Rio di patholog. nerv. e mental. Vol. II, 1897.

[28]) Brode: A new theory as to the fonctions of the semicircular canals. Journ. of Anat. and Physiol, tom 17, 1882.

[29]) Luzzati: Sulla percezione della direzione dei suoni. Giornal. della R. Accad. di med. di Torino, No. 2, 1897.

[30]) Alt: Zur Pathologie des corticalen Hörcentrums. Wien. klin. Wochenschrift, Nr. 10, 1898.

[31]) Gómez Ocaña: Centros visuales del cerebro. Comunicación a la Real Academia de Medicina de Madrid. Annalen derselben, 1895. — Ferner: Fisiología humana teórica y experimental. Madrid, 1896, pag. 679 u. folg.

[32]) Klippel: La non equivalence des deux hémisphéres cérébraux. La Presse médicale. 28. Januar 1898.

[33]) Brissaud: Le centre de l'agraphie et la surdomudité. La Presse médicale. Nr. 5, 1898.

[34]) Marie: L'évolution du langage consideré au point de vue de l'étude de l'aphasie. La Presse medicale, Nr. 109, 1897.

Druck von C. Grumbach in Leipzig.